

발간등록번호

11-1543000-002541-01

보안 과제(), 일반 과제(✓) / 공개(✓), 비공개()

첨단생산기술개발사업 제3차연도 최종보고서

축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술개발 최종보고서

2019.02.28.

주관연구기관 / 주식회사 다운
협동연구기관 / 주식회사 이지팜
협동연구기관 / 이화여자대학교 산학협력단
위탁연구기관 / 서울대학교

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술개발”(개발기간 : 2016. 09. ~ 2018. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 02. 28.

주관연구기관명 : 주식회사 다운

(대표자 최영경)



협동연구기관명 : 주식회사 이지팜

(대표자 김영국)



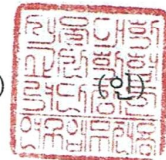
협동연구기관명 : 이화여자대학교 산학협력단

(대표자 반효진)



위탁연구기관명 : 서울대학교 산학협력단

(대표자 윤의준)



주관연구책임자 : 최영경

협동연구책임자 : 이성중

협동연구책임자 : 최병주

위탁연구책임자 : 이인복

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	316078-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2016. 09. ~ 2018. 12.	단 계 구 분	개발연구/ 개발연구
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술개발			
연구책임자	최영경	해당단계 참여연구원 수	총:111명 내부:111명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:1,167천원 민간: 390천원 계:1,557천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총:111명 내부:111명 외부: 명	총 연구개발비	정부:1,167천원 민간: 390천원 계:1,557천원
연구기관명 및 소속부서명	주식회사 다운 주식회사 이지팜 이화여자대학교 산학협력단 서울대학교			참여기업명 주식회사 다운 주식회사 이지팜	
국제공동연구	비해당			비해당	
위탁연구	연구기관명: 서울대학교			연구책임자: 이인복	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급 일반(√) 보안 () 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

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

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

<p>본 연구과제에서는 축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술 활용 사료효율측정기 및 환기시스템의 개발 및 이의 통합 조절을 위한 통신모듈과 제어 시스템 구축을 목표로 연구를 수행하였음. 수행결과 사료효율 측정을 위한 양돈/축우용 사료섭취량 측정 및 체중 측정 기술 개발, 경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 기술 개발, 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 기술 개발, 환기팬 자동제어를 위한 환기운영 개선 알고리즘 개발, 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술을 개발하였음</p>	<p>보고서 면수 401</p>
---	-----------------------

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p><input type="checkbox"/> 축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술 활용 사료효율측정기 및 환기시스템의 개발 및 이의 통합 조절을 위한 통신모듈과 제어 시스템 구축</p> <p><input type="checkbox"/> 본과제의 기술 개발 목표를 중심으로 다음 핵심 기술 개발을 수행함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사료효율 측정을 위한 양돈/축우용 사료섭취량 측정 및 체중 측정 기술 - 경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 기술 - 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 기술 - 환기팬 자동제어를 위한 환기운영 개선 알고리즘 - 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술 								
<p>연구개발성과</p>	<p><input type="checkbox"/> 1년차 : 대동물 사료섭취효율조사기와 위의 상태 모니터링 시스템 개발 및 기존 환기시스템의 효율성 조사 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 대동물 전용 사료섭취효율조사기 개발 2) 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발 3) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 설계 4) 기존 대상 축사의 환기 문제점 도출 및 테스트 시뮬레이션 모델 설계 <p><input type="checkbox"/> 2년차 : 양돈용 사료섭취효율조사기와 위의 상태 모니터링 시스템 개발 및 다점 측정 및 차별적 운영을 위한 환기시스템 개선 기술 개발</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 양돈용 사료섭취효율조사기 개발 2) 체중 측정 장치 개발 3) 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발 4) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 개발 5) 공기역학 시뮬레이션 모델 개발 및 기존 대상축사의 환기 개선안 제시 6) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발 <p><input type="checkbox"/> 3년차 : 현장 실증 및 사업화</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 체중측정장치 현장 적용 및 사업화 2) 위내 온도 및 pH 측정 시스템 시범농가 테스트베드 구축 및 빅데이터 수집 3) 축사 내 적정 환경데이터 모니터링을 위한 다점 측정 지점 도출 및 환기운영 시스템의 차별적 제어 방안 제시 4) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 실증 5) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 사업화 <p><input type="checkbox"/> 정량적 성과</p> <table border="1" data-bbox="394 1693 1433 1883"> <thead> <tr> <th data-bbox="394 1693 719 1727">End Product</th> <th data-bbox="724 1693 1043 1727">개발 전</th> <th data-bbox="1048 1693 1433 1727">개발 후</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="394 1733 719 1883">대가축용, 양돈용 사료 효율 측정 시스템</td> <td data-bbox="724 1733 1043 1883">기존 기술의 완성도 수입제품 대비 60% [디자인, 성능, 사용편의의]</td> <td data-bbox="1048 1733 1433 1883">수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]</td> </tr> </tbody> </table>			End Product	개발 전	개발 후	대가축용, 양돈용 사료 효율 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 60% [디자인, 성능, 사용편의의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]
End Product	개발 전	개발 후							
대가축용, 양돈용 사료 효율 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 60% [디자인, 성능, 사용편의의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]							

	체중 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 70% [디자인, 성능, 사용편의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의]			
	환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 50%	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 최소 90%			
	축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치	국내 제품 없음	국내 최초 개발품			
	경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 70%	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 최소 100%			
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<input type="checkbox"/> 기술개발 연구 - 섭취량 모니터링 및 체중측정 관련 제품 개발 기술 확보 - 최적 사육환경 알고리즘 개발 - 소프트웨어기반의 제어장치 개발 - 차별적 환기팬 및 순환팬 제어 시스템 개발 - 축사 구조 및 운영 측면에서의 에너지 부하 절감 기술 개발 <input type="checkbox"/> 시설 및 기기 설계, 제품 사업화 - ICT 기술 테스트 베드의 제품화 - 센서 및 계측 장비의 국산화 - 사육동물에 대한 정확한 사료효율 제공으로 사양관리능력 향상 - 순차적으로 낙농농가 지역별 단위 시범 적용 후, 대학 주도형 컨설팅 시스템을 구축 - 축사 내 환경조절 제어 기준을 위한 자료 활용 <input type="checkbox"/> 축산 질병 대응 - 빅데이터 기반 가축질병 대응 시스템 구축 - 소프트웨어 기반의 안전한 제어장치 개발 - 생체정보 모니터링 기술, 생체정보 변화를 활용한 질병예측 기술 확보 - 섭취량 대비 체중의 변화량의 정밀측정으로 새로운 사료배합비 창출 - 동물용 기기의 설계방식 및 구현 기술에 대한 기준 확보					
	국문핵심어 (5개 이내)	사료효율	환경제어관리	위내 온도.PH	데이터 송수신	스마트팜
	영문핵심어 (5개 이내)	feed efficiency	Environmental control management	Temperature and PH of a ruminant	Data transmitter-receiver	Smartfarm

<본문목차>

< 목 차 >

1장 연구개발과제의 개요	7
1-1. 연구개발의 필요성	7
1-2. 연구개발과제의 목적 및 내용	18
2장 연구수행 내용 및 결과	22
2-1. 연구수행 내용 및 결과(주식회사 다운)	22
2-2. 연구수행 내용 및 결과(주식회사 이지팜)	149
2-3. 연구수행 내용 및 결과(이화여자대학교 산학협력단)	212
2-4. 연구수행 내용 및 결과(서울대학교-위탁)	227
3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	374
3-1. 목표 달성도	374
3-2. 연구결과의 활용 계획	382
붙임. 참고 문헌	387

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 배경

가. 축산업 개황

(1) 한육우 사육과 쇠고기 수급 동향 - 『농업전망 2016』

(가) 1996년 한육우 사육 마릿수는 284만 마리(가임암소 134만 마리)를 기록한 이후 외환위기 등으로 2001년에는 140만 6천 마리(가임암소 60만 마리)까지 감소, 국내산 쇠고기 소비 증가로 2002년 이후 한육우 사육 마릿수는 연평균 8.0% 증가하여 2012년에는 306만 마리로 사상 최고치를 기록, 송아지 가격 약세로 번식의향이 위축되어 2011~13년 송아지 생산이 감소하여 2013년 이후 한육우 사육 마릿수는 감소 국면에 접어들었으며, 2015년 사육 마릿수는 2014년(276만 마리)보다 3.0% 감소한 268만 마리였음

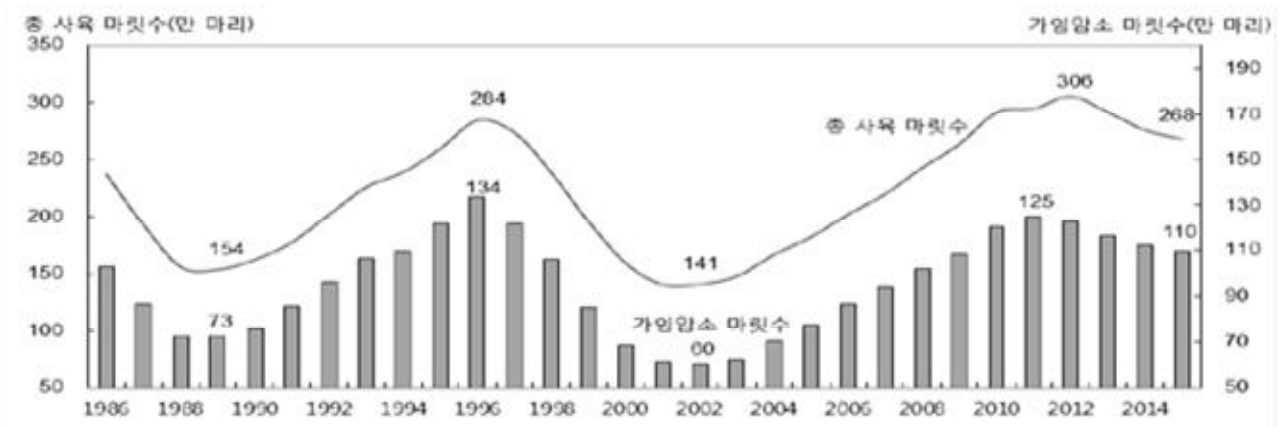


그림 2 한육우 사육 마릿수(자료: 통계청)

(나) 사육 마릿수 감소로 도축 마릿수 또한 2014년(98만 마리) 보다 4.6% 감소한 94만 마리였으며 국내 생산 감소와 수요 증가로 한우 도매가격은 2014년(1만 4,283원)보다 14.0% 상승한 1만 6,284원/지육kg이었음. 국내 가격 상승으로 쇠고기 수입량은 2014년보다 6.3% 증가한 29만 7천 톤이었음

표 8 국가별 쇠고기 수입량

단위: 천 톤(%)

	미국	호주	캐나다	뉴질랜드	기타	합계
2010년	91 (37)	122 (50)	0 (0)	31 (12)	2 (1)	245 (100)
2011년	107 (37)	145 (50)	0 (0)	33 (12)	4 (1)	289 (100)
2012년	100 (40)	124 (49)	2 (1)	26 (10)	1 (1)	254 (100)
2013년	89 (35)	143 (56)	1 (1)	22 (9)	1 (1)	257 (100)
2014년	105 (37)	150 (53)	3 (1)	21 (8)	1 (1)	280 (100)
2015년	113 (38)	164 (55)	1 (1)	18 (6)	2 (1)	297 (100)

* 괄호 안은 전체 수입에서 차지하는 비중임(자료: 농림축산검역본부)

(다) 2세 이상 마릿수 감소로 2016년 한육우 사육 마릿수는 2015년의 268만 마리 보다 1.9% 감소한 263만 마리로 예상되며 도축 마릿수 감소로 2016년 국내 쇠고기 생산량은 2015년보다 6.0% 감소한 24만 톤, 쇠고기 수입량은 3.6% 증가한 30만 8천 톤으로 전망됨. 국내 생산 감소로 2016년 전국 평균 한우 도매가격(원/kg)은 2015년 1만 6,284원(583만 원/600kg 환산)보다 2.5% 상승한 1만 6,691원(598만 원)으로 전망됨. 국내 생산량 감소폭이 커 2016년 1인당 쇠고기 소비량은 2015년보다 1.3% 감소한 10.8kg으로 예상됨

(2) 돼지 사육과 돼지고기 수급 동향 - 『농업전망 2016』

(가) 2014년 후보돈 입식 증가로 2015년 사육 마릿수는 2014년 대비 2.7% 증가한 1,013만 마리였음. 사육 마릿수 증가로 도축 마릿수는 2014년 대비 1.2% 증가한 1,588만 마리였음. 국내 가격 상승으로 2015년 돼지고기 수입량은 2014년 대비 29.2% 증가한 35만 4천 톤이었음. 돼지 도매가격은 2014년 대비 2.9% 상승한 4,939원/kg이었음

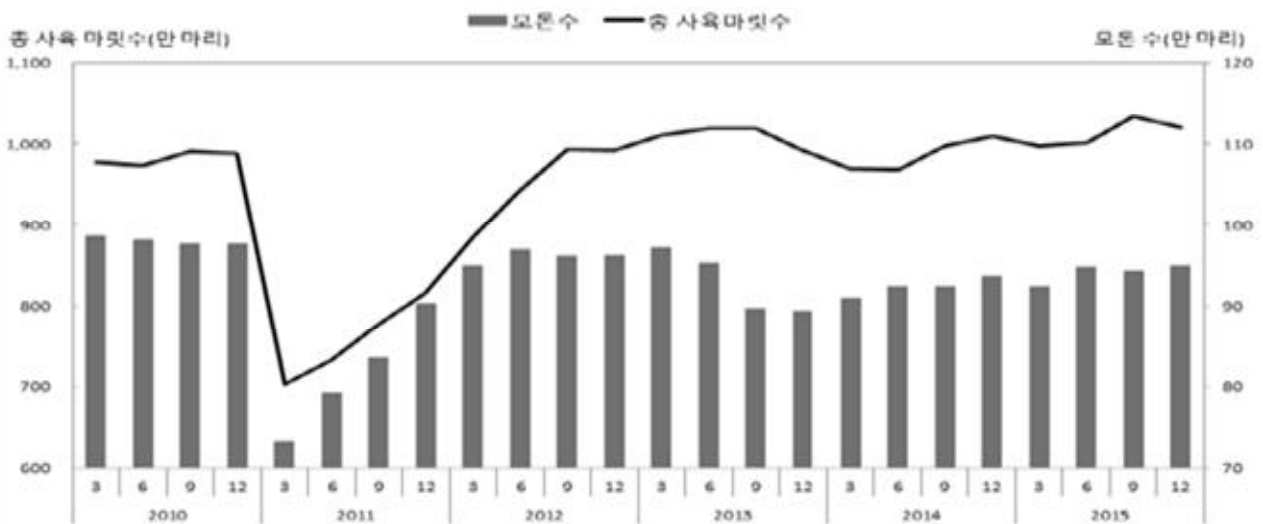


그림 3 돼지 사육 마릿수와 모돈 수 추이(자료: 통계청)

(나) 2014년부터 이어진 후보돈 입식 증가로 2016년 사육 마릿수는 2015년보다 0.7% 증가한 1,020만 마리로 전망되며 사육 마릿수 증가로 2016년 도축 마릿수는 2015년보다

2.0% 증가한 1,620만 마리로 예상. 생산량은 85만 4천 톤으로 전망. 국내 돼지고기 생산량 증가와 지육가격 하락으로 2016년 돼지고기 수입량은 2015년보다 27.6% 감소한 26만 톤으로 전망. 도축 마릿수 증가로 2016년 돼지 지육가격은 년보다 11.6% 하락한 4,364원/kg 으로 전망

표 9 우리나라의 국가별 돼지고기 수입량

								단위: 톤
	미국	독일	칠레	캐나다	네덜란드	오스트리아	프랑스	총수입량
2010년	51,008	4,766	29,862	17,743	13,154	13,354	13,852	179,491
2011년	143,047	27,153	24,991	47,567	18,893	18,893	16,645	370,382
2012년	111,680	33,112	27,541	23,012	14,012	14,012	11,359	275,165
2013년	75,720	24,572	19,470	10,430	8,627	8,627	6,403	184,966
2014년	93,402	50,837	18,141	11,601	9,330	9,330	10,344	271,733
2015년	129,363	58,486	26,562	16,695	15,267	15,267	8,723	357,923

자료: 식품의약품안전처

(3) 축산물생산비 현황 - 『2015년 축산물생산비조사』

(가) 15년 축산물생산비는 사료가격 하락에 따른 사료비 감소 등으로 한우비육우를 제외한 모든 축종에서 전년보다 감소

표 10 축산물 생산비 현황

축종별	구분	15(A)		14(B)		전년대비			
						증감(A-B)		증감률(%)	
		경영비	생산비	경영비	생산비	경영비	생산비	경영비	생산비
송아지 (천원/마리)		2,096	3,236	2,103	3,240	-7	-4	-0.3	-0.1
한우비육우 (천원/100kg)		808	943	788	925	20	18	2.5	2.0
육우 (천원/100kg)		530	633	527	635	3	-2	0.5	-0.4
우유 (원/ℓ)		639	763	667	796	-28	-34	-4.2	-4.2
비육돈 (천원/100kg)		258	270	265	276	-7	-6	-2.8	-2.3
계란 (원/10개)		997	1,051	1,006	1,064	-9	-13	-0.9	-1.2
육계 (원/kg)		1,214	1,278	1,278	1,340	-64	-63	-5.0	-4.7

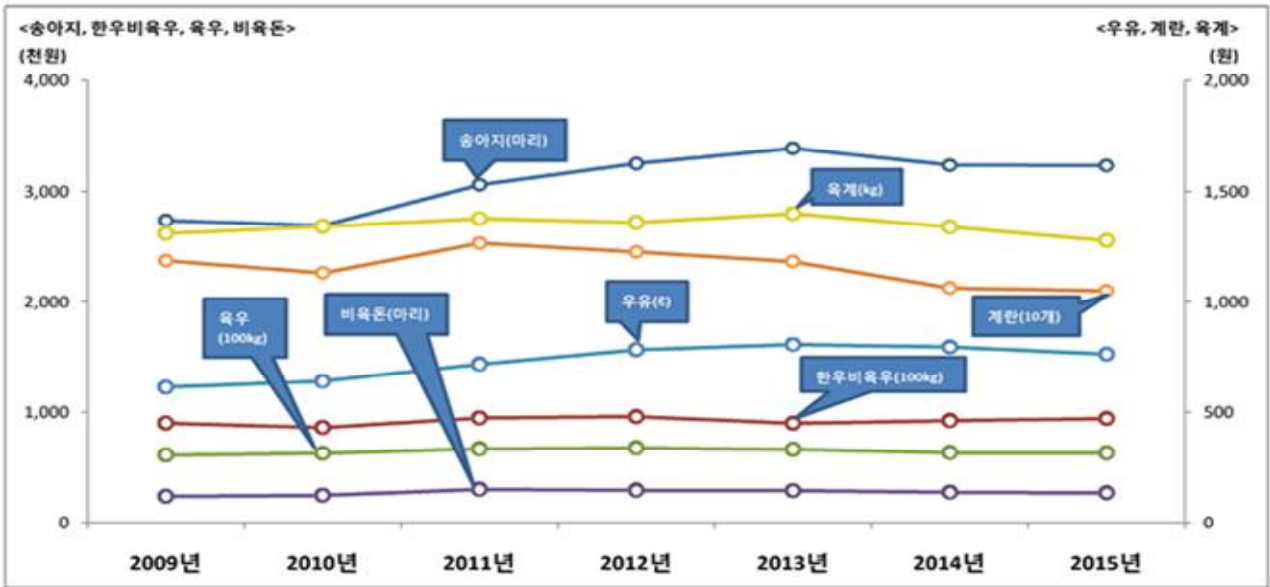


그림 4 최근 7년간 생산비 추이

(나) 15년 축산물 순수익은 생산비 감소와 축산물 생산량, 판매가격 상승 등에 기인하여 소 및 돼지 축종은 전년보다 증가한 반면, 닭 축종은 축산물 판매가격 하락 등에 기인하여 전년보다 감소

표 11 축산물 수익성 현황

축종별	구분	15			14			순수익 전년대비	
		총수입	소득	순수익	총수입	소득	순수익	증감	증감률
한우번식우 (천원/마리)		2,162	628	-192	1,801	241	-585	394	-
한우비육우 (천원/마리)		7,183	1,296	316	6,414	688	-293	608	-
육우 (천원/마리)		4,374	536	-207	3,515	-310	-1,092	885	-
젓소 (천원/마리)		10,057	3,944	2,809	9,730	3,580	2,422	386	15.9
비육돈 (천원/마리)		404	111	97	398	97	84	13	15.0
산란계 (원/마리)		32,812	3,896	2,363	35,693	5,818	4,147	-1,784	-43.0
육계 (원/마리)		1,910	159	67	2,058	203	112	-45	-40.5

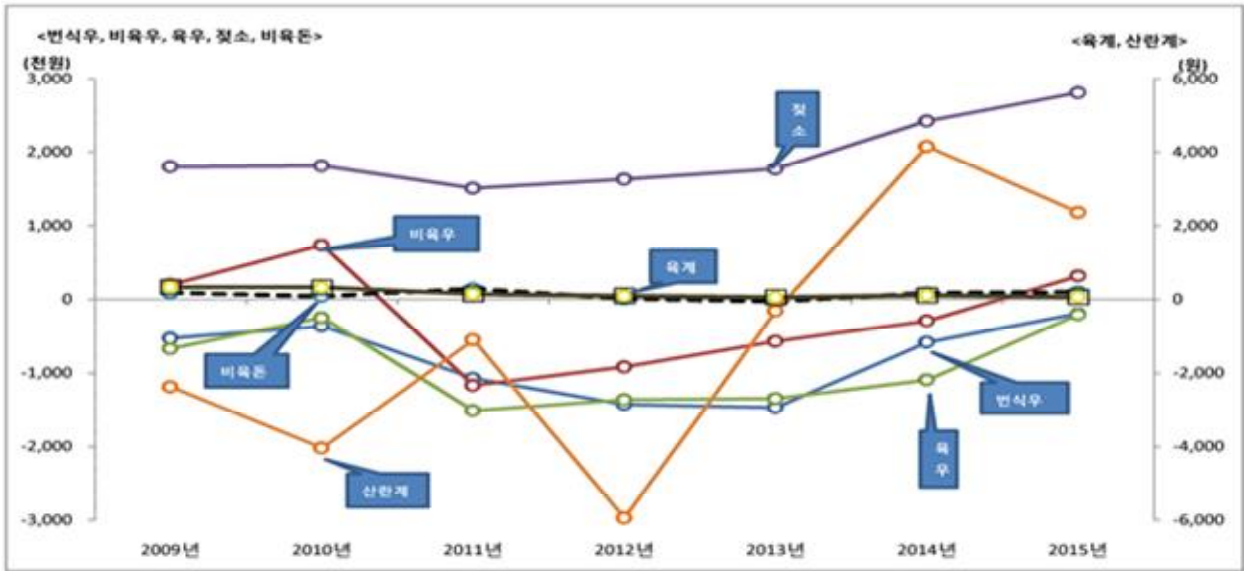


그림 5 최근 7년간 순수익 추이

(4) 생산성 증가를 위한 사료효율 개선 및 환경정밀 관리 필요성

- (가) 상대적으로 낮은 가격의 외국산 수입육을 구입해 본 소비자가 동일한 소비 형태를 고찰화 하지 않으리란 보장이 없기 때문에 현 시점에서 가격 경쟁력을 확보하려면 기호성의 증가를 위한 국내산 쇠고기, 돼지고기의 품질 향상과 더불어 농가 생산성의 개선이 매우 시급한 상황임. 이에 농가들이 자체적인 생산비절감에 대한 필요성을 체감하고 관련 기술 및 연구에 대한 수요가 늘어나고 있는 실정임
- (나) 양돈 농가의 생산비 증가는 사료비용 증가가 주원인으로, 농가의 생산비 중 사료비용이 40~60%를 차지하고 있어 사료효율 개선으로 생산비를 절감할 수 있음
- (다) 국내에서는 양돈생산성 극대화를 위한 가장 기본적이면서도 중요한 사양관리가 체계 및 근거가 없는 원리에 따라 우후죽순 난립하고 있으며, 이른바 소모성 질병의 만연과 잘못된 사양관리에서 기인한 높은 자돈의 폐사율로 인해 돈육의 가격이 높은 호황기에도 흑자를 기록하는 농가는 그리 많은 실정임
- (라) 국내 양돈농가의 가격경쟁력을 향상시키기 위한 방안은 이미 여러 해 전부터 많은 양돈업계 종사자들을 통하여 제시되어 왔고 해마다 새로운 내용이 추가되어 왔음. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 국내 양돈 농가의 비육돈 두당 수익성은 특별히 개선되고 있지 않으며, 시간 변화에 따른 물가 상승률을 감안한다면 오히려 감소했다고 봐도 무방한 상황임.
- (마) 이러한 생산성 향상의 정체가 일어나는 이유는 국내의 양돈 현장에 맞지 않는 미 검증된 외국의 사양관리 기술이 무분별하게 도입 및 시행되었기 때문으로, 이는 국내 양돈 산업의 양적인 성장에 비해 질적인 성장이 이루어지지 못한 주원인이기도 함
- (바) 현재 여러 가지 사양 기법 및 사육시스템이 무분별하게 혼동되어 사용되는 양상을 해결하기 위한 농가의 생산성을 향상시키기 위한 객관적인 검증 실험은 물론 새로운 기술개발을 위한 연구들이 요구됨
- (사) 축사는 겨울철 난방 때문에 축사 밀폐로 인한 암모니아 가스농도 상승 등의 문제점이 있어 축사설비 자동제어로 최적의 사육환경 관리 필요함. 또한 농장관리의 효율적인

운영, 생산비 절감, 생산성 향상을 위한 양돈장에서 과학적·자동화로 기반을 마련하기 위하여 ICT융합 기술을 활용한 경쟁력을 갖추어야 함

나. 스마트팜 확산사업 개황 - 『사업계획 적절성 재검토 보고서(첨단생산기술개발사업)』

(1) 정책 동향

(가) 농수축산 생산·유통·소비 분야에 적용 가능한 ICT 융합 기술 개발을 목표로 다양한 R&D 시범사업 추진. USN, RFID, LED, GIS/GPS, QR코드 등의 기술을 기반으로 클라우드, 빅데이터, IoT 등의 신기술 영역으로 확대

(나) 농림축산식품부는 '농식품 ICT 융복합 확산 대책'을 통해 2017년까지 2,249억 원을 투자할 계획

① ICT 융복합 모델 확산 현황 : 2010년부터 추진된 시설원예의 경우 일부 품목의 확산이 가능한 수준, 축산 분야는 도입 단계, ERP, 품질 모니터링, 소비 이력 추적, 농촌 관광 정보 등도 가능

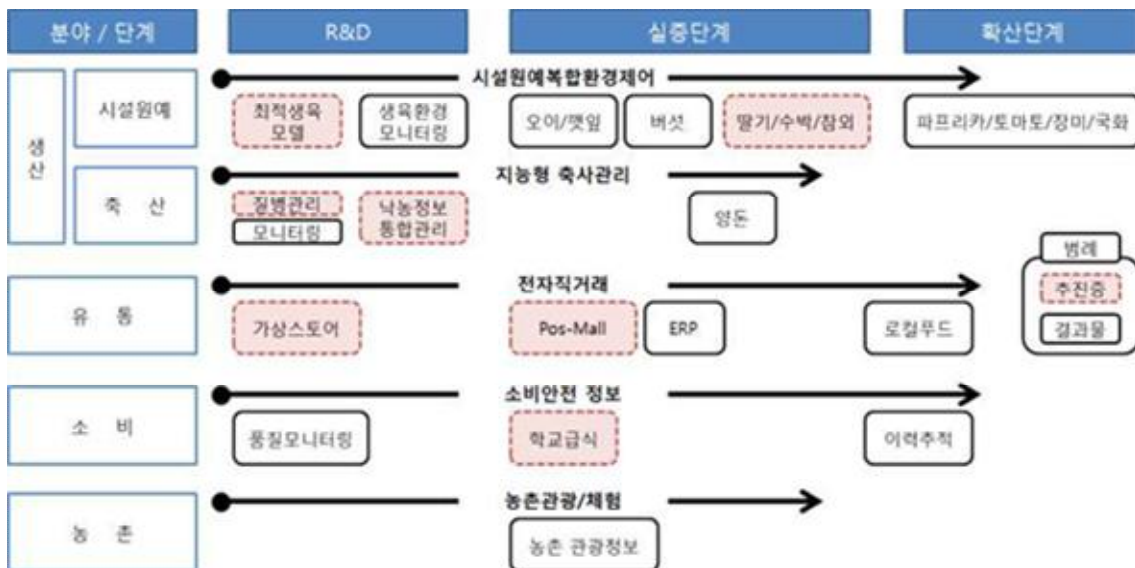


그림 6 ICT 융복합 모델 개발 현황(출처: 농림축산식품부)

(다) 정책 연계, ICT 전문 인력 양성, 농기업·IT 기업 간 기술 협력을 위한 산·학·연·관 협력 네트워크 구축 및 운영 등 ICT 산업 생태계 조성 노력 강화

- ① 하드웨어(컨트롤러, 센서)와 소프트웨어(ERP 등)의 표준화 및 통합 정보 활용 체계 구축 추진
- ② 민간 업체의 현장적용 모델 확산을 위해 자본이 부족한 ICT 기업에 대한 펀드 지원을 검토할 계획

(라) 미래창조과학부는 '신산업 창조 프로젝트5'의 일환으로 IoT와 농업의 융합 프로젝트를 선정

- ① 사물인터넷 기반 농작물 최적 생육환경 제어를 위한 개방형 IoF(Internet of Farm) 핵심 플랫폼 개발 사업을 추진(2014. 6. 30)
- ② 지능적인 농업 서비스 제공을 위한 인프라로 직거래·자급자족·도시농업 관련 제품 및 서비스 상용화, 수산업·축산업 등 확대 적용 등이 주요 목표

(마) 첨단 농업 및 융합 기술의 현장 적용 어려움

- ① ICT를 활용한 첨단 농업 정책을 지속적으로 추진하고 있으나 재배여건이 불량한 비닐 온실과 10여년 이상 노후화 된 온실이 대부분(90%)을 차지하여 ICT를 접목을 통한 생산성 향상에는 한계가 있음
- ② ICT기업의 영세성 등으로 ICT 시설 보급, 사용법 교육, 사후관리가 체계적이지 못하고 농가의 ICT 활용능력도 낮음
- ③ 농업기자재 등 농업중심 기업체와 IT중심 기업 간의 협력체계 미흡
- ④ 농식품 분야 과학기술 수준은 향상되었으나, 농업 현장의 기술 수준은 여전히 저조
- ⑤ 한국과 네덜란드의 농업과학기술 Lab 차이는 90~100% 수준이지만 Farm(농장) 기술은 60~70% 수준으로 연구기술의 현장 적용이 미흡한 상태

(바) 낙후된 인프라 개선 및 정책-R&D-현장 연계형 기술 개발

- ① ICT 기술이 적용 가능한 원예시설의 현대화 작업이 선행되어야 하며 ICT 시설도입 시 단계별 교육·컨설팅 등의 지원이 필요함
- ② 농업과학기술의 현장 활용을 최우선하고 고질적인 농정현안 해결 및 R&D의 현장성과 확대를 위해 정책-R&D-현장간 연계를 기반으로 한 Total Solution형 접근이 필요함
- ③ 기술 공급자(대학, 국공립연구소) 중심의 정책 하에서는 개발기술의 현장적용에 한계를 보이고 있음. 이에 따라, 산. 학. 연. 관 협력네트워크 구성하여 현장 수요기반 애로기술해결 R&D 추진해야 함
- ④ 기술개발의 정책을 수립함에 있어서 현장 문제해결 중심의 명확한 목표 설정이 필요하며 이는 현장에서 성과체감이 가능한 목표여야 함

다. 축산분야 스마트팜 보급 및 표준화 현황

(1) 축산분야 스마트팜 보급 현황

- (가) 스마트팜은 ICT를 축사에 접목해 원격·자동으로 가축의 생육환경을 제어할 수 있는 농장임
- (나) 2015년 스마트팜 도입 농가는 2014년 30호에서 156호로 늘어 1년 새 5배 이상 많아졌음. 스마트팜은 성공한 농장 인근 지역으로 빠르게 확산 하는 단계에 진입했으며 생산성 효과가 나타나기 시작함. 도입 농가를 대상으로 성과를 분석한 결과 스마트팜 도입 후 평균 생산량이 25.2% 증가하고 인건비는 9.5% 감소, 이에 따라 전체 소득은 30.6 증가함

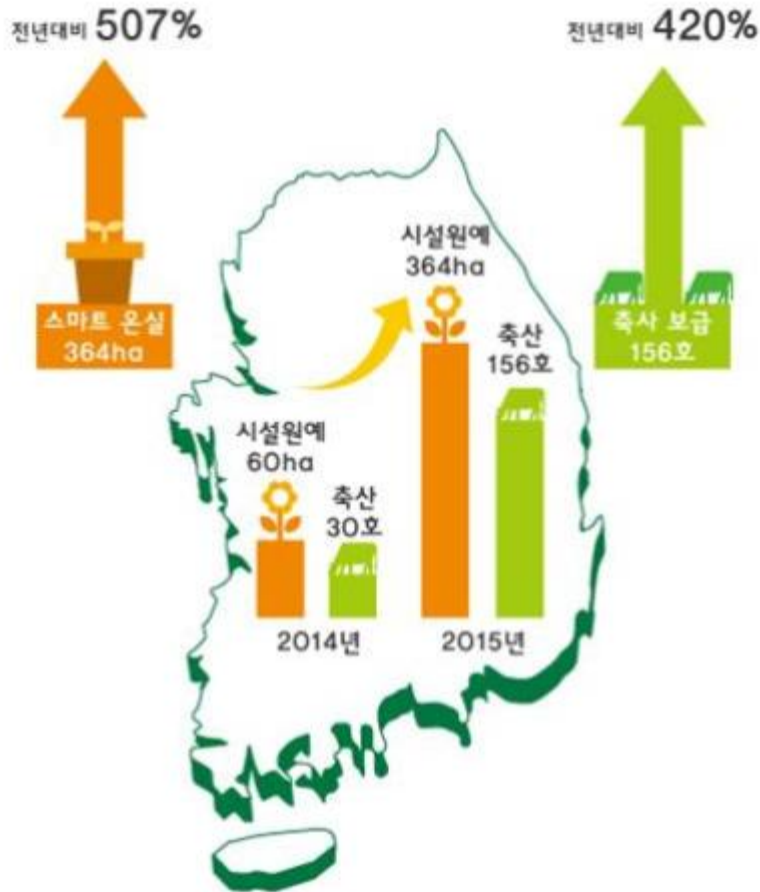


그림 7 스마트팜 보급 현황(출처: 농림축산식품부)

(2) 표준화를 통한 산업화 모델 개발 - 『사업계획 적절성 재검토 보고서(첨단생산기술개발 사업)』

- (가) 농축산 시설의 ICT 융합을 통한 첨단화 이전에 낙후된 농축산 시설자재의 표준화를 통한 보급이 선행되어야 함. 표준화가 미흡하면 자재수집이 어렵고 시공비용이 증가해 공정의 생략 및 불안정 시공 등으로 시설생산자재의 선진화가 어렵게 됨
- (나) 안전한 농축산 시설을 설계하고 유지·관리하는 것은 재해예방을 위한 핵심기술로 시공을 위한 세부 부품 및 다양한 재배방식이 적용된 모델의 규격화 또는 표준화가 필요함. 이와 같이 표준화된 인프라를 구축한 후, 최적 모델, 설계 기준 등 ICT를 융합한 산업화 모델을 개발해야 함
- (다) 축산분야 ICT 관련 표준화 진행을 위해 2016년 3월 30일 '축산분야 ICT융합 산업화 포럼'을 농촌진흥청에서 개최하였음. 포럼에서는 축산분야 ICT 부품 및 기기의 표준화를 위한 포럼을 구성하고 축산분야 ICT 기기 규격화 대상 및 표준화 방향을 논의하였음. 포럼에서 우선적으로 추진하는 공동규격(안)은 축산 환경계측관련 외기, 내기 및 안전 센서 관련하여 기존 기상청 센서사양과 스마트온실의 표준화(안)을 참고하여 축산분야에 맞게 측정범위·불확도 등을 수정하는 것임. 또한 사양관리 센서 및 제어기 관련하여 중요하고 시급하며, 결정하기 쉬운 것부터 순차적으로 공동규격(안) 도출하기로 하였음
- (라) 2016년 7월 현재까지 4차례의 포럼이 진행되었으며 포럼에서는 공동규격(안)을 공청회

를 거쳐 단체 표준으로 등록요청을 할 계획임. 또한 농림수산물교육문화정보원에서는 'ICT융복합 장비설치 규격 및 서비스 기준(안)' 2014년 개정하고 2016년 5월 개정하여 농식품 ICT 융복합 확산사업 각 분야의 ICT 시설장비 설치규격 및 서비스 기준을 정하고 이를 활용하여 농장의 정보를 수집 및 활용방안에 대한 가이드라인을 정의함

2. 연구개발의 중요성

가. 기술현장적용 검증 및 성능평가의 중요성

- (1) 농촌진흥청 등 연구기관은 축사 내 환경조절 문제점을 신속히 해소할 수 있는 축산분야 ICT 융·복합 연구개발을 지속적으로 수행하고 있음. 기존의 환기팬 제어시스템의 운영은 소수의 환경변수 측정지점에서 관측값이 축사 내 전체를 대표한다는 가정 하에 전체적인 제어시스템이 가동되도록 설계되었음
- (2) 실질적으로 축사는 계절별 환기방식(환기팬의 위치, 풍향, 풍속 등)에 따라 축사 내부에서 발생하는 대류현상으로 인하여 유해요소의 농도(먼지, 휘발성 유기화합물, 암모니아, 이산화탄소, 황화수소, 온도, 습도, 풍속 등)이 높아질 가능성이 있으며 지역적 환경변수(온·습도, 환기량 등)에 대한 차이가 발생함(특히, 축산시설의 대형화가 이루어질수록 환경변수에 대한 불균일성(편차)가 심화되므로 이에 따라 환경조절을 위한 제어시스템의 운영비용이 증가 또는 감소할 수 있음
- (3) 그러므로 축사 내 다점 측정을 실시하고 이를 제어알고리즘에 적용함으로써 차별적 입·배기구의 운영방식을 채택하여 운영효율을 개선할 필요가 있음. 또한 정확도 및 신뢰성 높은 환기제어시스템을 보급 및 확산을 위해서는 축사 내 환경 변화에 대한 검증이 필요함. 실제로, 종전에 u-IT사업이 연구개발에 중심을 두었던 과는 달리 연구개발단계에서 개발된 기술을 현장에서 실증하고, 우수한 기술을 바탕으로 경제성이 검증된 모델에 대해서는 확산을 추진하고자하는 축산분야 ICT 융복합 확산체계를 가지고 있음.
- (4) 실증을 위한 축사 내 환경변화를 관측방법에는 크게 현장 실험과 수치해석방법이 있음. 현장실험의 경우에는 실제 현장에서의 실험을 진행하고 데이터를 획득하기 때문에 현실적인 데이터를 측정할 수 있다는 장점을 갖지만 실험을 위한 인력과 비용이 많이 상당히 많이 투입되며 균일한 환경을 조성하는데 있어서 다소 어려운 점으로 인하여 다양한 조건에서의 실험이 제한적이며 측정 데이터의 원인을 규명하는데 있어 어려움이 있음.
- (5) 수치해석적 방법을 이용할 경우 설계된 모델에 있어서 다소 복잡한 검증절차가 필요로 하지만 상대적으로 적은 비용으로 다양한 실험 조건에 따른 현상 (공기 유동, 온습도, 환기량 등)을 모의가 가능한 장점을 가지고 있음.
- (6) 따라서, 현장실험법과 수치해석적 방법 (전산유체역학 기법)의 장점을 극대화 하면서 서로의 단점을 보완하기 위해서는 수치해석을 위한 이론적 배경 및 현장에 대한 이해와 두 실험법에 대한 상호보완적 실험설계가 필수적으로 이루어져야 함



그림 8 원천 및 응용기술에 대한 ICT 융·복합 모델 확산 체계

나. 환경 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템의 중요성

- (1) 양돈 농장의 경우 돈사 가장 하부에 분뇨 통이 설치되고, 바닥재가 깔리고, 그 위에서 밀집된 사육 형태로 돼지가 먹고 자고 출하됨. 농장 건축은 최고의 단열과 틈새 막음을 통해 공기흐름을 차단하여 적정온도를 유지 관리하는 것임. 이에 따라 공기 유입 구를 지정하여 설치하고 인위적인 공기 흐름을 만듦. 환기환의 역할은 가동을 멈추어 공기 흐름을 유지할 수 없어 돼지 생명을 빼앗는 극한적인 경우도 존재하지만, 대부분의 일상적 상황에서는, 환기환의 제어 능력에 따라 농장의 내부온도 및 환기량이 적정하고 안락한 환경을 만들 수도 있고, 반대로 환기 및 무 환기의 연동 상황이 발생하는 최악의 환경을 만들어 항상 질병에 찌들고 성장이 저조한 돼지를 만들 수 있어 환기환 자동 제어는 무척 중요함
- (2) 농장 환기는 냄새 제거나 혹은 유해 가스 제거 등 단순한 논리고 접근해서는 절대 안되며 농장 내 생명의 원천을 지키기 위해 산소를 공급하는 것이며 항상 적정한 양의 산소를 적정한 온도 안에서 유지하는 것임. 이는 1년 365일 24시간 1분 1초도 소홀히 할 수 없는 작업이며 이 모든 일은 환기환 만이 하는 것이며 사람이 할 수 없는 일임. 환기환의 특성 및 능력 등에 대한 정확한 고찰이 선진 양돈으로 가는 지름길이라 할 수 있음

다. 축산 스마트팜 전용 유·무선 다중 데이터 송수신장치의 중요성

- (1) '14년 본격화된 “농식품 ICT 융복합 확산사업”에서 다수의 양돈농가는 국산제품보다 외산제품의 선호 현상이 뚜렷. 아직 제대로 검증되지 못한 국산제품에 비해 외산제품은 네덜란드 PTC+ 등에서 국내 선진농가들이 직접 교육받고 체험한 제품으로 선호도가 앞섬. 외산 IoT장비 대비 열악한 경쟁력을 극복할 수단으로서 통합화 필요. 개별 제품 중심의 외산제품 대비 국산제품이 기보급된 사양관리소프트웨어와 결합하여 통합관리 및 과학적 컨설팅이 지원될 시 경쟁우위에 설 수 있음.
- (2) 고가의 외산 IoT장비의 국산화 및 기개발된 축산분야 IoT장비간의 호환성 문제를 극복하고 일관성 있는 IoT 연계 정보화 시스템 구축이 시급
- (3) 다양한 환경관리장비, 제어장비의 데이터를 하나의 통신모듈을 통하여 제어 관리시스템에 전달하는 다중 데이터 송수신장치는 과학적 사양관리에 따른 생산성 증가, 원격 감시 및 제어에 따른 노동생산성 증가의 초석이 될 수 있음

라. 경구투여용 센서태그를 이용한 온도 및 pH 측정의 중요성

- (1) 경구투여용 센서태그를 이용하여 실시간으로 온도 및 pH를 정확하게 측정하는 것이 가능함으로써, 젖소의 행동과 생리상태에 대한 실시간 모니터링이 실현됨
- (2) 젖소의 체온 변화는 유해열, 폐렴, 중독증, 괴저성 유방염, 케토시스, 식체 등 다양한 질

병을 말해주는 단서로 작용될 수 있어 매우 중요하여, 열 스트레스와 바이러스 감염으로 인해 소의 발육 지연, 체중 감소, 필수 감소, 번식불능, 운동장애 등 생산성 저하뿐 아니라, 때에 따라 죽음에 이를 수 있음

- (3) 기존 캐놀라 기술을 통한 센서태그 시스템에서는 잦은 반추위 캐놀라의 개폐가 반추위 미생물에 요구되는 조건을 방해하여 정확한 측정을 어렵게 함. 하지만 캐놀라의 개폐없이 젖소의 pH 변화를 실시간으로 측정하므로써 반추위 내 발효상태를 정확하게 측정하는 것이 가능함
- (4) 질병의 사전 감지/발생 초기 대응능력 향상의 초석이 될 수 있음. 일반적인 경우, 질병으로 폐사 시 젖소 마리 당 8백~9백만 원의 손실이 발생함. 실시간으로 정확한 체온 및 pH 측정이 가능해짐으로써 질병 사전 감지/발생 초기 대응능력 향상이 될 것으로 봄
- (5) 첨단 IoT 기술을 접목하여 젖소의 발정/수정/분만 최적기를 사전 파악함으로써 생산성을 높이고 손실을 감축할 수 있는 서비스 필요함. 젖소의 번식성공률 향상을 위해 정확한 발정 시기와 수정 일시 예측이 필요함. 발정 후 수정 적기를 정확히 파악하지 못할 경우 가임 암소 마리당 월평균 사료비 13만원 추가 부담 발생
- (6) 분만사고로 송아지 폐사 시 평균 250만 원의 손실, 분만우의 연평균 사료비 156만 원이 추가 발생함. 분만일 예측과 그에 따른 적절한 조치로 분만 성공률을 높이고 비용 부담을 줄일 수 있음

2절 연구개발의 목적 및 내용

1. 최종목표

가. 축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술 활용 사료효율측정기 및 환기시스템의 개발 및 이의 통합 조절을 위한 통신모듈과 제어 시스템 구축

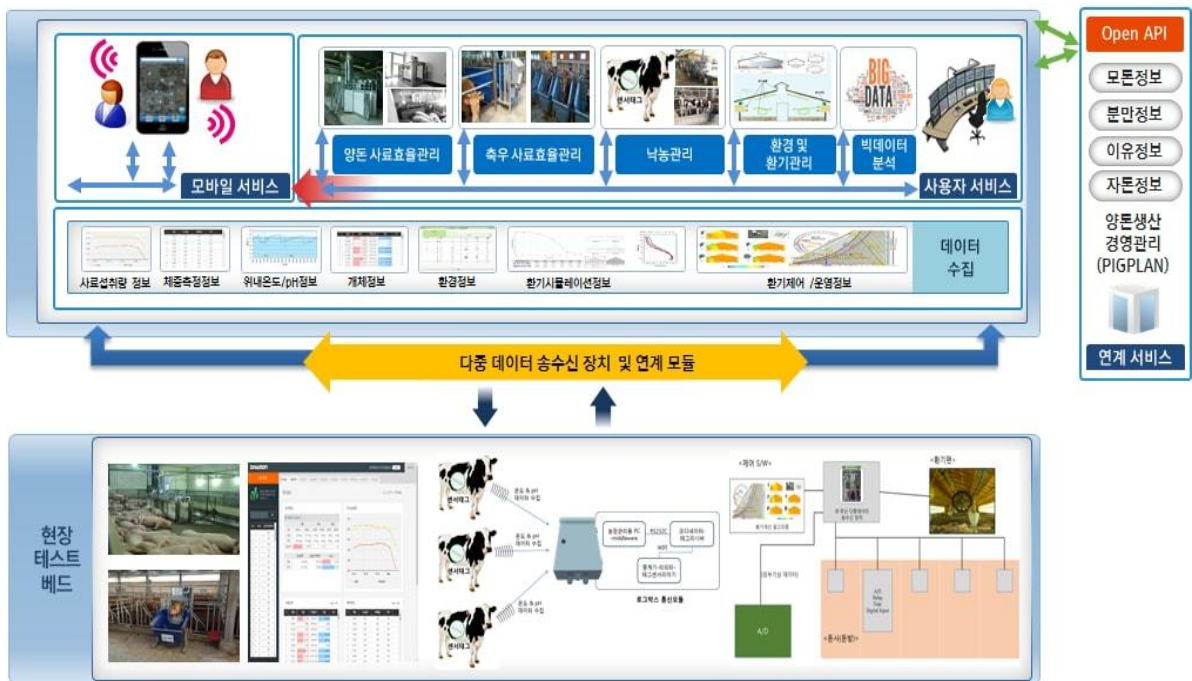


그림 9 연구개발의 최종목표

나. 본 과제의 기술 개발 목표를 중심으로 다음 5개 핵심 기술 개발을 진행함

- (1) 사료효율 측정을 위한 양돈/축우용 사료섭취량 측정 및 체중 측정 기술
- (2) 경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 기술
- (3) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 기술
- (4) 환기팬 자동제어를 위한 환기운영 개선 알고리즘
- (5) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술

다. End Product

- (1) 사료효율 측정 시스템(양돈/축우용)
- (2) 체중측정 시스템(양돈/축우용)
- (3) 경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 시스템
- (4) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템
- (5) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치

2. 주요 연구내용

가. 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템 개발

- (1) 유·무선 통신 모듈이 결합된 환경 정보 수집 장비 개발
- (2) 유·무선 통신이 가능한 환기 자동 제어 키트 개발
- (3) 환경 모니터링 측정값에 따른 환기 제어 요소 운용 알고리즘 개발

나. 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발

- (1) 유·무선 다중 데이터 송수신 통신 모듈 개발
- (2) 환경관리장비, 제어장비 연계 모듈 개발
- (3) 빅데이터 기반 다양한 실시간 데이터 수집 및 분석 시스템 개발

다. 사료효율측정기 개발

- (1) 대동물 전용 사료섭취효율조사기 개발 및 보급
 - (가) 사료 섭취량조사기 개발
 - (나) 조사기 연동형 체중측정장치 개발
 - (다) 제어 및 유무선 통신용 전용개별제어장치 개발
- (2) 양돈전용 사료효율조사기 개발 및 보급
 - (가) 양돈용 가루사료 섭취량조사기 개발
 - (나) 조사기 연동형 체중측정장치 개발
 - (다) 제어 및 유무선 통신용 전용개별제어장치 개발
- (3) 대동물용 체중 자동측정장치 개발 및 보급
 - (가) 체중측정장치 개발
 - (나) 동물제어용 게이트장치 개발
 - (다) 제어 및 유무선 통신용 전용개별제어장치 개발
- (4) 양돈용 체중 자동측정장치 개발 및 보급
 - (가) 체중측정장치 개발
 - (나) 동물 선별 및 제어용 게이트장치 개발
 - (다) 제어 및 유무선 통신용 전용개별제어장치 개발
- (5) 시스템 통합 및 웹 및 모바일서비스 장치 개발
 - (가) 통합제어기 개발
 - (나) 웹서버 구축 및 모바일 앱 개발

라. 위내 온도 및 pH 측정 시스템 개발

- (1) 온도 및 pH 측정을 위한 경구투여용 센서태그 개발
- (2) 측정된 데이터 취합을 위한 로그박스 통신모듈 개발
- (3) 제어관리를 위한 통합관리 프로그램 개발

3. 주요 기능

- 가. 사료섭취 효율조사기: 대동물과 돼지의 체중 및 섭취량을 근거로 사료효율을 실시간 조사하여 제공하는 시스템 개발
- 나. 체중 자동측정장치: 대동물과 돼지의 체중을 측정하여 동물 사양관리의 기본자료로 활용할 수 있도록 하는 시스템 개발
- 다. 환기 관리: 유·무선 통신 기능, 환기 자동 제어 기능, 환기 제어 요소 운용 기능
- 라. 데이터 송수신: 유·무선 다중 데이터 송수신 기능, 환경 및 제어장비 연계 기능
- 마. 데이터 수집 및 분석: 빅데이터 기반 다양한 실시간 데이터 수집 기능, 실시간 데이터 분석 기능
- 바. 경구투여용 센서태그: 젓소 체내(반추위)에 삽입되어 온도 및 pH 실시간 측정함
- 사. 로그박스 통신 모듈: 바이오태그를 통해 수집된 생체정보 취합/전송
- 아. 통합관리 프로그램: 젓소 행동 및 생리상태 모니터링을 위한 웹/모바일 기반의 프로그램 제작
- 자. 통합시스템 개발: 모든 시스템을 ICT환경에서 사용이 가능하도록 데이터를 통합관리 관제할 수 있는 시스템 및 전용서버 프로그램 웹프로그램 모바일 프로그램 제작 및 서비스

4. 주요 성능치

- 가. 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템 개발

(1) 주요 성능치 정의

주요 성능지표	정의	성능목표치 근거
환기환 자동 제어	- 돈사 내부에 설치된 온·습도 센서에 센싱된 값을 수집하고 위탁연구기관(서울대학교)에서 연구된 환기 개선 알고리즘을 통해 환기환 자동 제어	- 돈사 내부에 설치된 온·습도 센서 데이터를 수집하여 환기 개선 알고리즘을 통해 환기환이 자동 제어 되는지 실험하기 위해 선정
현장 적용	- 과제 결과물의 운용이 가능한 현장 적용 개수	- 다양한 환경을 비교실험하기 위한 양돈 1개, 가금 1개소 선정

(2) 성능치 개발 목표

성능 항목	단위	세계최고 수준	국내수준	최종 개발 목표
환기환 자동 제어	-	-	-	온·습도 센서를 통한 환기환 자동 제어
현장 테스트베드 적용	건수	-	-	양돈 1개, 가금 1개소 이상

나. 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발

(1) 주요 성능치 정의

주요 성능지표	정의	성능목표치 근거
평균 처리시간	- 다양한 환경관리장비, 제어장비의 데이터를 처리하는 평균시간	- 현장장비에서 발생하는 이벤트 데이터를 지연 없이 처리해야 하며 이를 위해 최소 지연시간이 요구됨
현장 적용	- 과제 결과물의 운용이 가능한 현장 적용 개수	- 다양한 환경을 비교실험하기 위한 2개 이상 선정

(2) 성능치 개발 목표

성능 항목	단위	세계최고 수준	국내수준	최종 개발 목표
평균 처리시간	초/건	객관적 성능측정치 없음	객관적 성능측정치 없음	< 5초
현장 테스트베드 적용	건수	-	-	총 2개소 이상

다. 사료효율측정기 개발

(1) 주요 성능치 정의

주요 성능지표	정의	성능목표치 근거
사료효율측정기	- 가축의 사료섭취량과 체중을 측정하여 사료효율을 연산해 낸다.	- 섭취량 측정의 오차율을 3% 이내로 하고 체중측정의 오차율을 5% 이내로 구현한다.
현장 적용	- 과제 결과물의 운용이 가능한 현장 적용 개수	- 다양한 환경을 비교실험하기 위한 한우, 양돈에 적용

(2) 성능치 개발 목표

성능 항목	단위	세계최고 수준	국내수준	최종 개발 목표
사료효율측정기	-	-	-	- 정확한 사료효율이 측정될수 있도록 안정된 시스템 개발 보급
현장 테스트베드 적용	건수	-	-	- 한우, 양돈 각 1개소

2장 연구수행 내용 및 결과 (2-1. 주식회사 다운)

1절 대동물용 사료섭취량 조사기 제작

1. 대동물용 사료섭취효율조사기 개발

가. 사료섭취효율의 개념

- (1) FCR(Feed Conversion Ratio): 사료요구율은 사료가 고기로 바뀌는 효율을 나타낸 지표로 값이 작을수록 좋은 것임
- (2) 사료효율은 사료요구율과 반대의 개념으로 고기가 사료로 바뀌는 효율을 나타낸 지표이며 숫자가 높을수록 좋은 것을 의미함

$$\text{사료효율} = \text{증체량} / \text{사료섭취량}$$

- (3) 사료효율을 측정하기 위해서는 사료섭취량을 측정해야하고, 체중까지 측정해서 섭취량 대비 증체량의 비율을 연산하여 사료효율을 측정한다. 일반적으로 사료섭취량을 정확하게 측정해야 하며 일일증체량 또는 일일 착유량 등의 측정이 이루어져야 한다.

나. 사료섭취량 조사기의 기본 구성

- (1) 섭취량 조사기 알고리즘

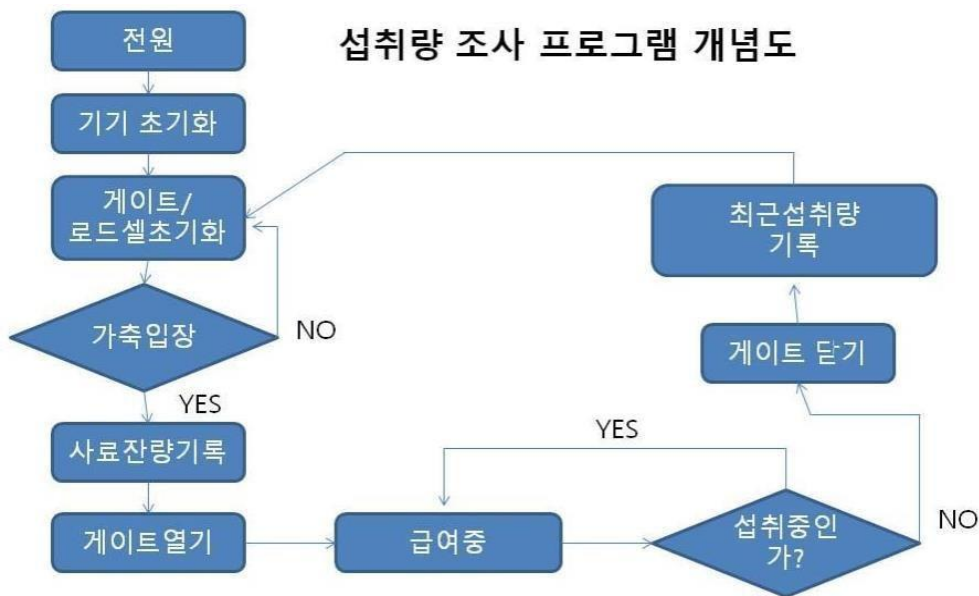


그림 10 알고리즘 개념도

(2) 시스템 기본구성도

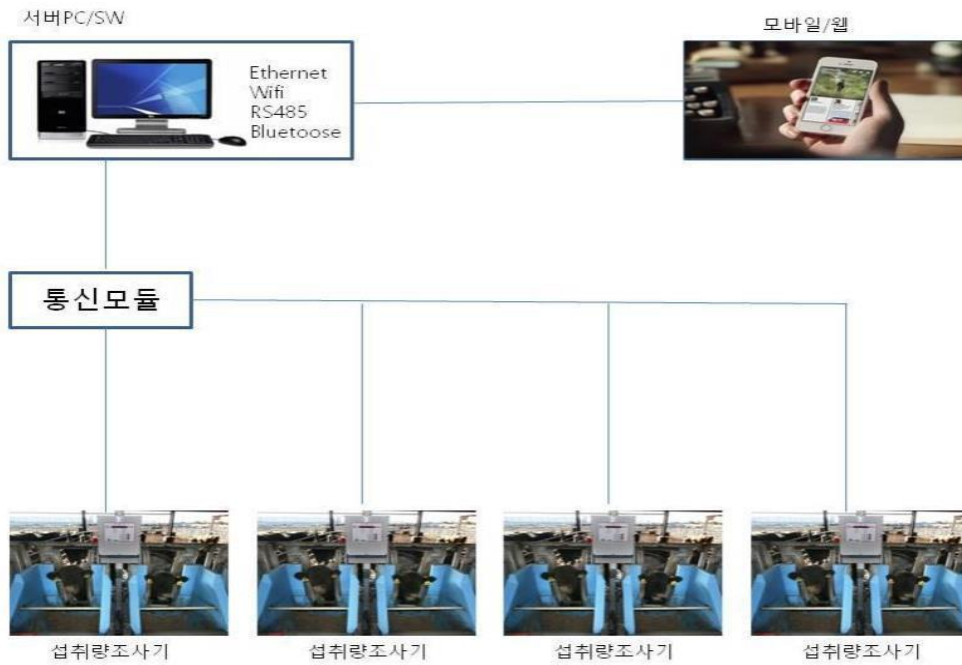
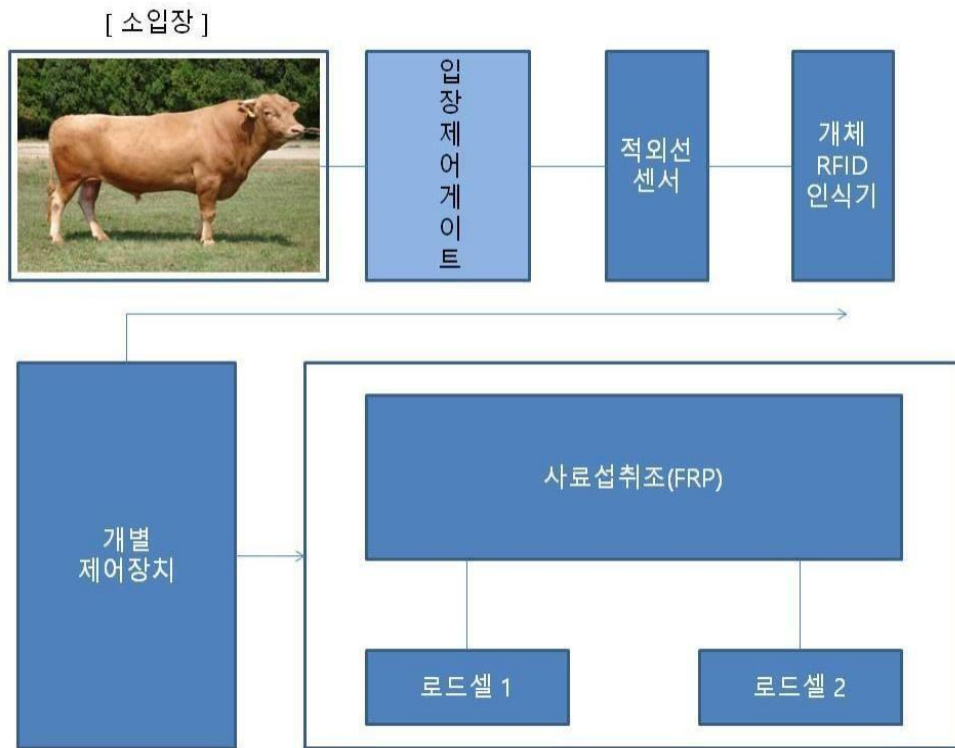


그림 11 시스템 기본 구성도

- (가) 농장내부 자료관리 및 웹서비스 연동목적의 서버급 PC설치 및 운영
- (나) 통신모듈은 통한 각각의 섭취량 조사기 64대와 통신기능 보유
- (다) 섭취량 조사기의 전용 제어기는 입장 개체를 관리하고 섭취량을 확인 후 통신모듈을 통한 자료전송
- (라) 농장서버 PC와 웹 서버간 자료교환을 통한 웹 및 모바일 서비스 가능
- (마) 웹서버는 MYSQL기반의 클론데이터 베이스를 유지 및 자료 보관

(3) 기구물 구성도



- (가) 입장제어 게이트: 가축의 입장을 확인 후 게이트를 제어한다. 가축이 바뀔 경우나 급여를 중지해야 하는 가축의 경우 급이가 되지 않도록 하는 목적의 에어식 게이트 동작함
- (나) 적외선 센서: 섭취중인 가축이 사료조에서 머리를 빼어낼 경우 다른 가축의 입장이 있기 전에 제어 게이트를 닫고 섭취량을 계산하여야 하므로 가축의 유무를 신속하게 확인해야 한다. 보통 2채널을 사용하여 상단 하단에 각각 설치하여 30Cm간격안의 가축의 유무를 판단한다. 가축없음 신호가 약 0.5초를 초과하여 발생 시 즉각적으로 게이트를 닫도록 하여 섭취가축이 바뀌는 문제를 조기에 예방해야한다.
- (다) 개체 인식 RFID 리더: 개체별로 부여 되어있는 RFID를 인식하기 위한 장치로 최대 25센티 정도의 인식거리를 유지할 수 있는 장거리 RFID리더기를 장착하여 입장한 가축의 이력을 확인할수 있어야 한다. 기본적으로 125KHz나 134KHz의 저주파 대역의 장치를 사용하고 있다.
- (라) 사료섭취조: FRP재질로 제작하여 사료의 정체나 신선함을 유지할수 있는 구조로 설계 되어야 하며, 가축의 충격에도 견딜수 있는 구조로 제작 해야한다. 가축의 행동패턴을 이해하고 제작하여 섭취에 거부감이 없도록 제작해야하며, 초식동물의 특성상 간히는 구조로 설계할 경우 입장을 기피할수 있으므로 가시거리가 확보가 되는 개방형 구조로 설계해야 한다.
- (마) 로드셀 : 최소 10그램 단위의 무게를 측정을 해야하고 1톤 이상의 체중을 가진 가축이 사용하는 관계로 로드셀의 용량의 선정에 주의가 필요했다. 다양한 실험을 통해서 250킬로 로드셀을 2개를 이용하여 제작하는 것으로 결정함

(4) 기구물 구성의 문제점



그림 13 농진청개발 구형모델

- (가) 섭취조 아래에 로드셀을 설치 후 사료무게를 측정하는 방식으로 설계함
- (나) 사료조의 충격이 지렛대 구조로 로드셀에 전해지는 관계로 로드셀의 파손발생
- (다) 로드셀이 바닥면에 있는 관계로 습기에 의한 로드셀의 수명단축
- (라) 로드셀 주변에 사료 및 이물질이 고착되는 문제로 무게측정 오차가 많아짐
- (마) 로드셀 파손 시 고장수리가 어려움

(5) 해외 제품의 검색 및 국내 여건을 고려한 설계 분석 및 적용

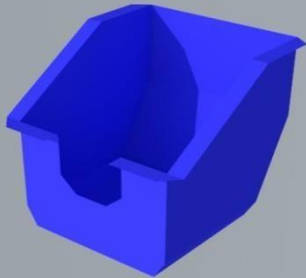
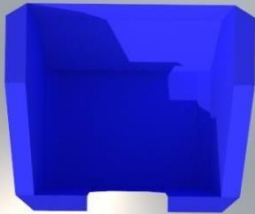
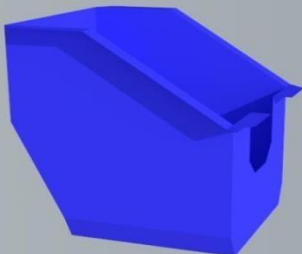


그림 14 해외 브랜드 제품군

- (가) 초기 제품은 로드셀을 바닥에 취부하였으나 업그레이드 된 제품은 좌우측에 2개 이상을 설치하여 힘을 분산하도록 설계하였음
- (나) 청소가 용이하도록 사료통의 회전이 가능하게 하거나 입구가 쉽게 개폐되도록 하여 관리자가 청결성을 높이는 데 편리하도록 하였음
- (다) 사료 허실을 방지하기 위한 사료 허실봉의 위치 및 재질 강도에 대한 의미를 파악
- (라) 사료 섭취중 가축이 바뀌는 문제에 대응하기 위하여 입구에 게이트를 설치 운영
- (마) 사료조에 사료가 고형이 될 수 있는 부분을 없애 청결성이 유지될 수 있도록 설계할 필요성이 있음

다. 사료섭취량 조사기의 설계 및 제작

(1) 사료조 재설계

3D 이미지 설계	개요
	<ul style="list-style-type: none"> - FRP 700*800*900 - 좌측면도 - 두께 5밀리 - 입구 조절가능
	<ul style="list-style-type: none"> - FRP 700*800*900 - 윗면도 - 두께 5밀리 - 보강살 부착으로 강도보전
	<ul style="list-style-type: none"> - FRP 700*800*900 - 우측면도 - 두께 5밀리 - 코너 완만하게 처리

(2) 목형 및 금형제작

(가) 충격 방지 및 청소가 용이한 구조로 설계 진행

(나) 섭취조의 청결성 및 청소 용이성을 확보하기 위하여 스티로폼을 이용하여 제품의 모델링을 확인

(다) 목형을 새롭게 설계 및 제작하여 실제 사용

목형 및 몰드베이스 제작	개요
	<ul style="list-style-type: none"> - FRP 700*800*900 - 정면도 - 외형 샘플링 - 폼 소재를 이용한 외형검증
	<ul style="list-style-type: none"> - FRP 700*800*900 - 입구쪽 베이스금형 - 두께 5밀리 - 보강살 부착으로 강도 보강
	<ul style="list-style-type: none"> - FRP 700*800*900 - 경사도 조절 및 수정 - 두께 5밀리 - 코너 완만하게 처리

(3) 시제품제작

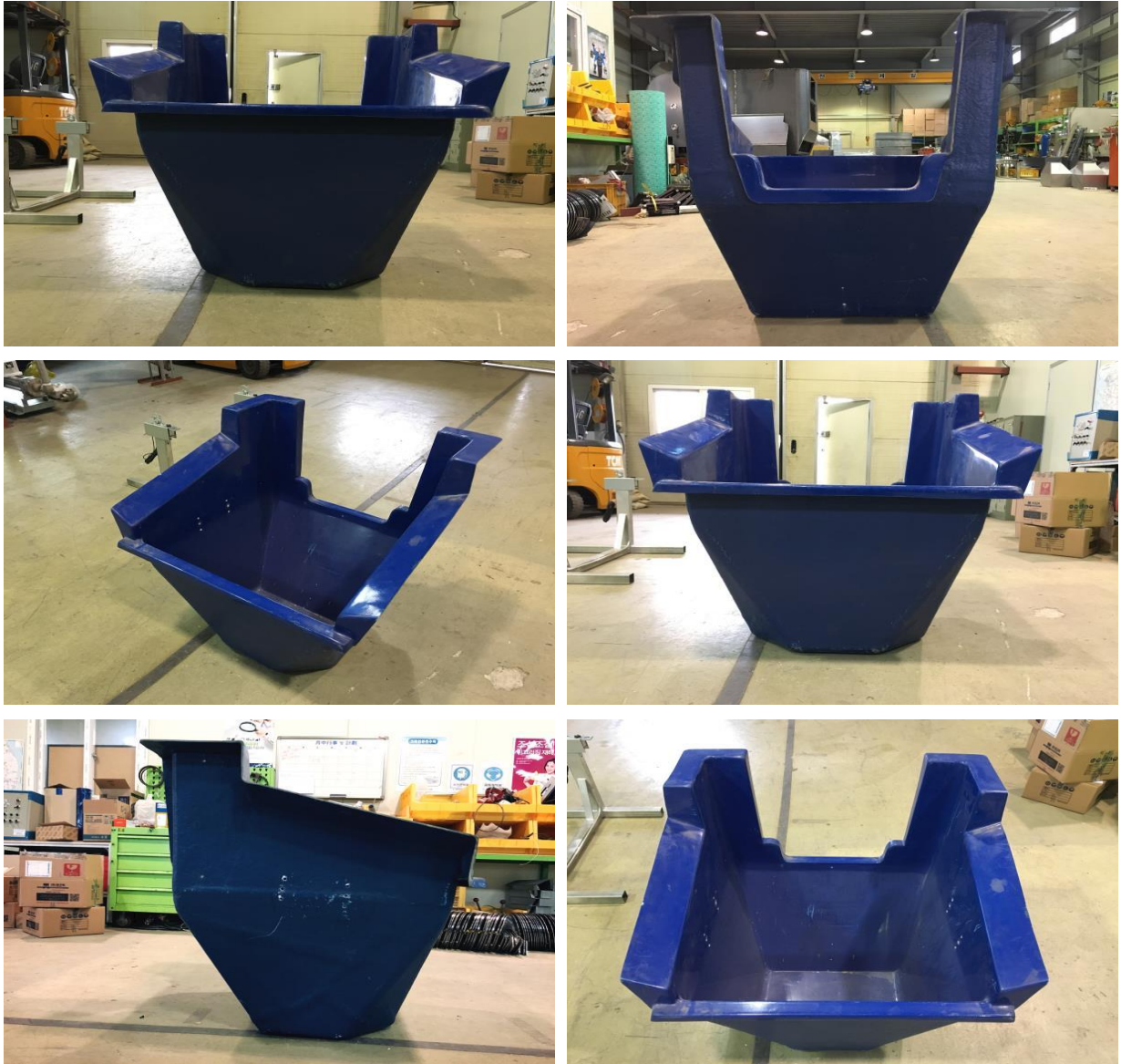
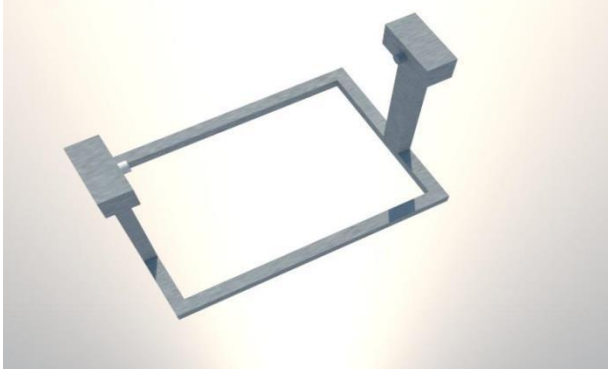
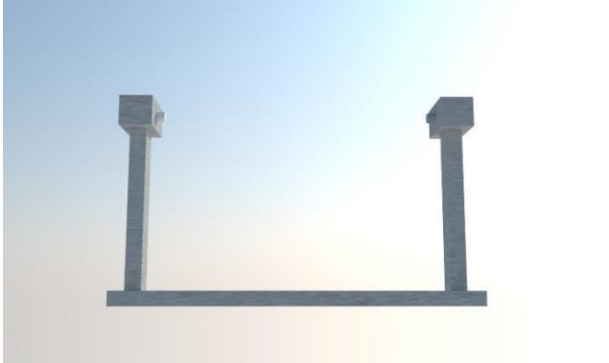


그림 21 시제품 제작상태

(4) 2채널 로드셀 베이스 도면제작

로드셀 베이스 3D 설계 이미지	설계 사양
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 정면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버

로드셀 베이스 3D 설계 이미지	설계 사양
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 정면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버

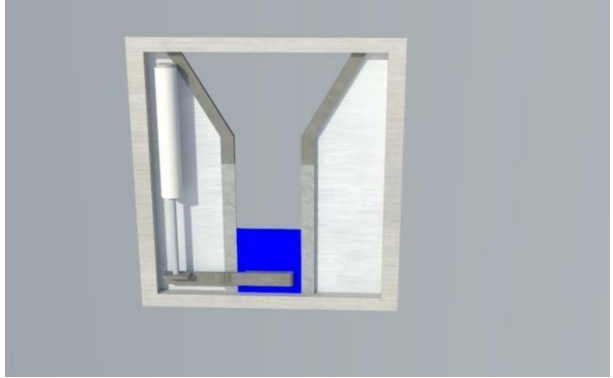
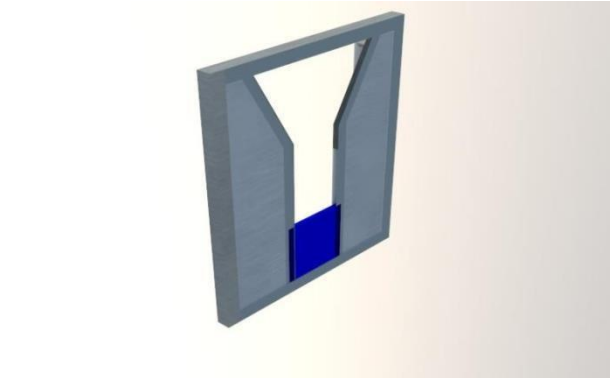
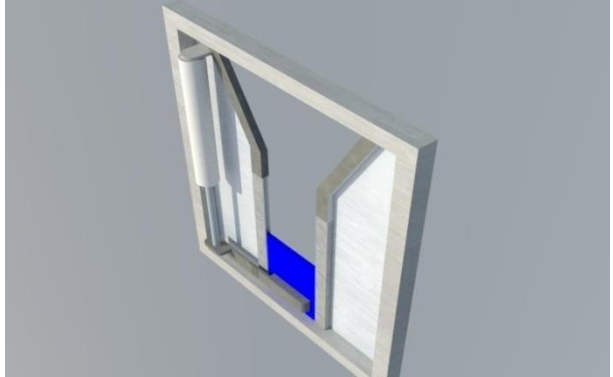
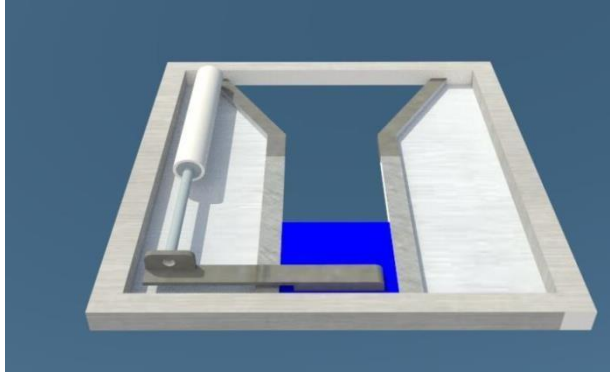
(5) 2채널 로드셀 베이스 샘플 제작

- (가) 기존 제품의 문제점 개선을 위하여 로드셀의 위치 및 메커니즘의 구조를 새로운 방법으로 새롭게 설계
- (나) 도면수정 및 메커니즘 수정을 통해서 합리적인 섭취량조사 방법을 도출

로드셀 베이스 샘플 제작상태	제작 사양
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버

로드셀 베이스 샘플 제작상태	제작 사양
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 정면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 측면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*650*600 - 정면도 - 아연도금 50각파이프 - 로드셀/로드셀보호커버

(6) 출입 통제전용 에어식 게이트

출입 통제전용 에어식 게이트	개요
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*900*120 - 섭취조 설치방향 - 에어식 피스톤을 이용한 게이트 제어방식 - 한우 젖소에 모두 사용가능
	<ul style="list-style-type: none"> - 정면도 - 가축보호/돌출부분제거 - 게이트 판재(PP재질판재사용) - 높이조절 가능(송아지, 성우)
	<ul style="list-style-type: none"> - 측면도 - 적외선 센서부분 제외됨
	<ul style="list-style-type: none"> - 하측면도 - 철재 레일에 PP판재 슬라이딩 - 피스톤 500 mm 사용됨

(7) 출입 통제전용 에어식 게이트(실제 제작)

출입 통제전용 에어식 게이트(실제 제작)	설명
	<ul style="list-style-type: none"> - 800*900*120 - 섭취조 설치방향 - 에어식 피스톤을 이용한 게이트 제어방식 - 한우 젖소에 모두 사용가능
	<ul style="list-style-type: none"> -정면도 -가축보호/돌출부분제거 -게이트 판재(PP재질판재사용) -높이조절 가능(송아지,성우)
	<ul style="list-style-type: none"> -측면도 -적외선 센서부분 제외됨
	<ul style="list-style-type: none"> -하측면도 -철재 레일에 PP판재 슬라이딩 -피스톤 500밀리 사용됨.

(8) 완제품 조립



그림 41 제품조립 및 동작상태 검사

라. 섭취량 조사기 전용 제어기 설계

(1) 섭취량 조사기 전용 제어기 기본 구성

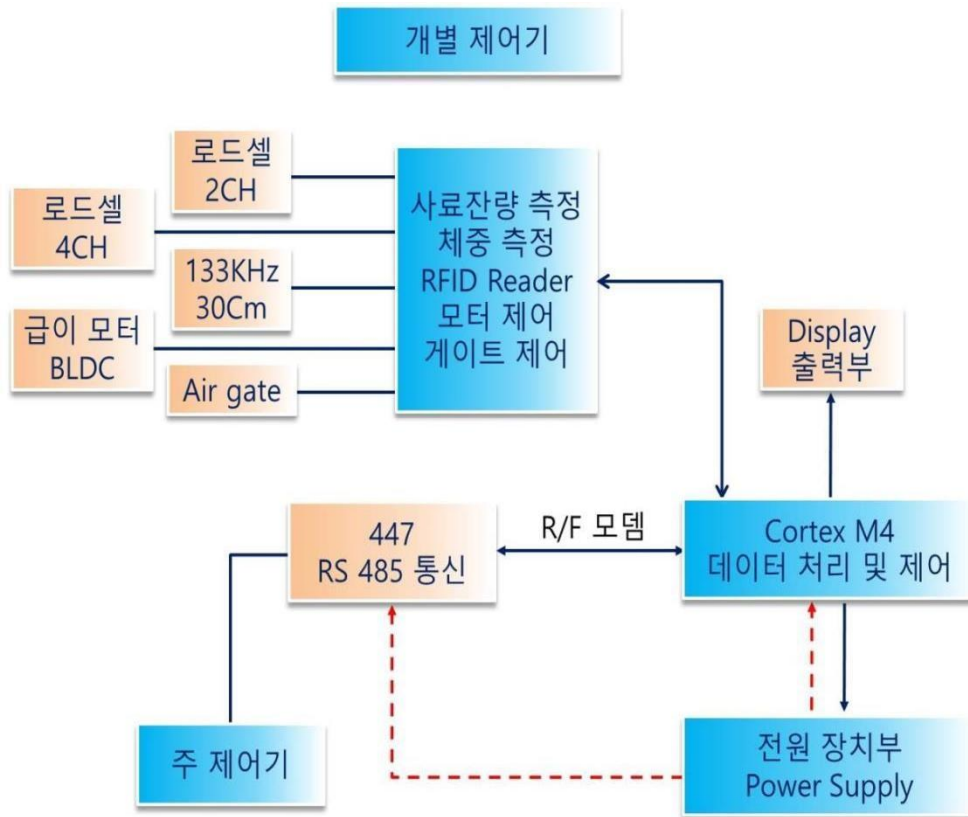


그림 42 섭취량 조사기 전용 제어기 구성도

- (가) 2개의 출력 장치를 구성함
- (나) LCD 1: 시스템 동작상태 및 통신 상태등의 출력장치로 사용됨
- (다) 16*2 캐릭터 LCD
- (라) FND 2: 전자저울용 인디케이터출력장치로 활용됨. 무게출력
- (마) RS485 통신회로 부착으로 총 64개의 제품군과 통신 가능
- (바) 32비트 Cortex M3계열 CPU의 사용으로 고성능 동작이 가능함.
- (사) 2채널 로드셀 인디케이터를 내장함 (로드셀 믹서 , 인디케이터동시 내장)

(2) 섭취량 조사기 전용 제어기 제작

(가) 전자회로의 경우 섭취량조사기 전용 제어기, 주제어기, 통신장치, 고속인디케이터 등의 개발이 필요

(나) 전문가 협력으로 최적 사양으로 제작

섭취량 조사기 전용 제어기 제작	상세 사양
 <p data-bbox="247 1205 694 1236">그림 43 로드셀 인디케이터용 출력부</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 총 5digit 출력 가능 - 123.45 - 10그램 단위출력 가능 - RS232통신 , 19200Bou - 자체 안정화 모듈 탑재 - 8비트 전용 마이크로 프로세서 - 인디케이터 <p>① FIM(FEED INTAKE MONITOR) 전용제어기와 함께 설치되어, 무게를 실시간으로 측정하는 장치로서 전용제어기와 통신으로 모든자료를 보고하여 데이터를 생성할수있도록 하는 장치이다.</p> <p>② 자체제작한 전용 인디케이터(무게측정컨트롤러)를 제작하여 최적의 무게측정과 기록을 할 수 있도록 하였으며, 측정속도를 10회/초 정도까지 높였다.</p>
 <p data-bbox="247 1937 694 1968">그림 44 섭취량 조사기 전용 제어기</p>	<ul style="list-style-type: none"> - MCU board - Basic I/O board - RS485 통신 - 무선모뎀기반 통신 - M_RAM기반 자료기록(Flash 대체) - 전원 안정화 회로 부착 - 통신라인 보호회로 부착

(3) 주 제어기 설계

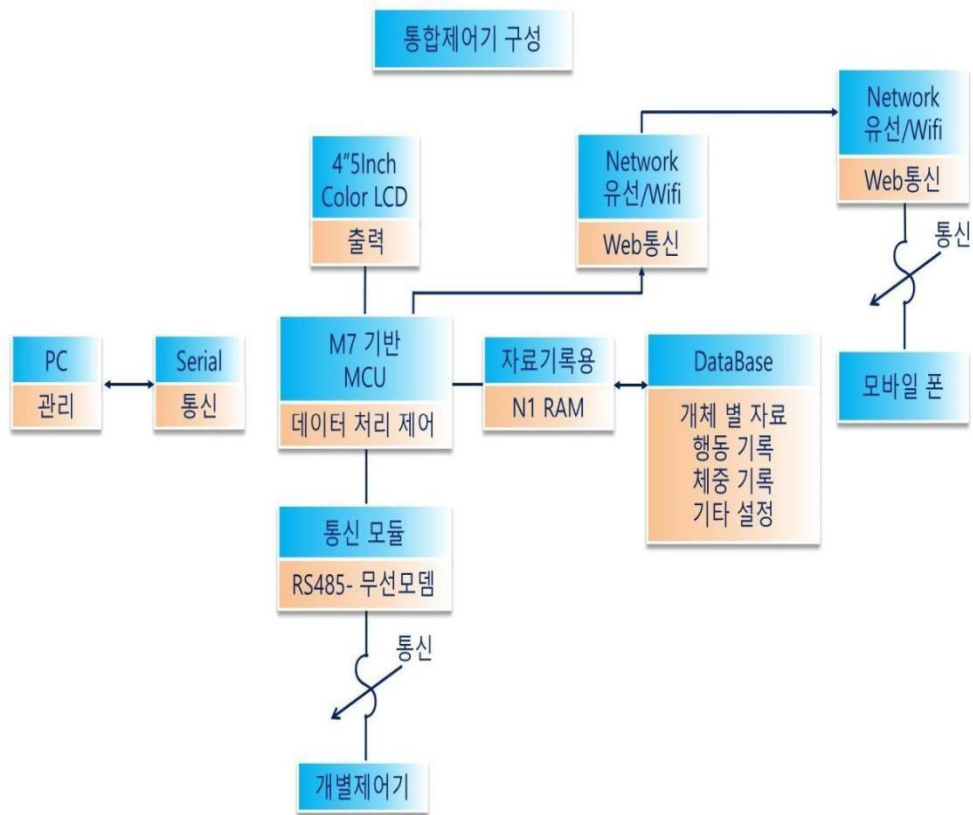


그림 45 통합제어기 구성도

- (가) 섭취량조사기 64대를 통제하고 자료를 관리하는 장치
- (나) 32bit 마이크로 프로세서 Cortex M7계열 고성능 프로세서 탑재
- (다) 3.5인치 그래픽 컬러 LCD 출력장치 탑재
- (라) 비 휘발성 M-RAM탑재(자료 장기보관 가능, 정전시 자료유지, READ/WRITE수명 없음)
- (마) 다양한 통신 모듈 탑재 가능 (RS485,무선모뎀, 이더넷모뎀)
- (바) 초정밀 RTCC(시간측정) 탑재로 정밀 자료 출력 가능

(4) 주 제어기 회로도

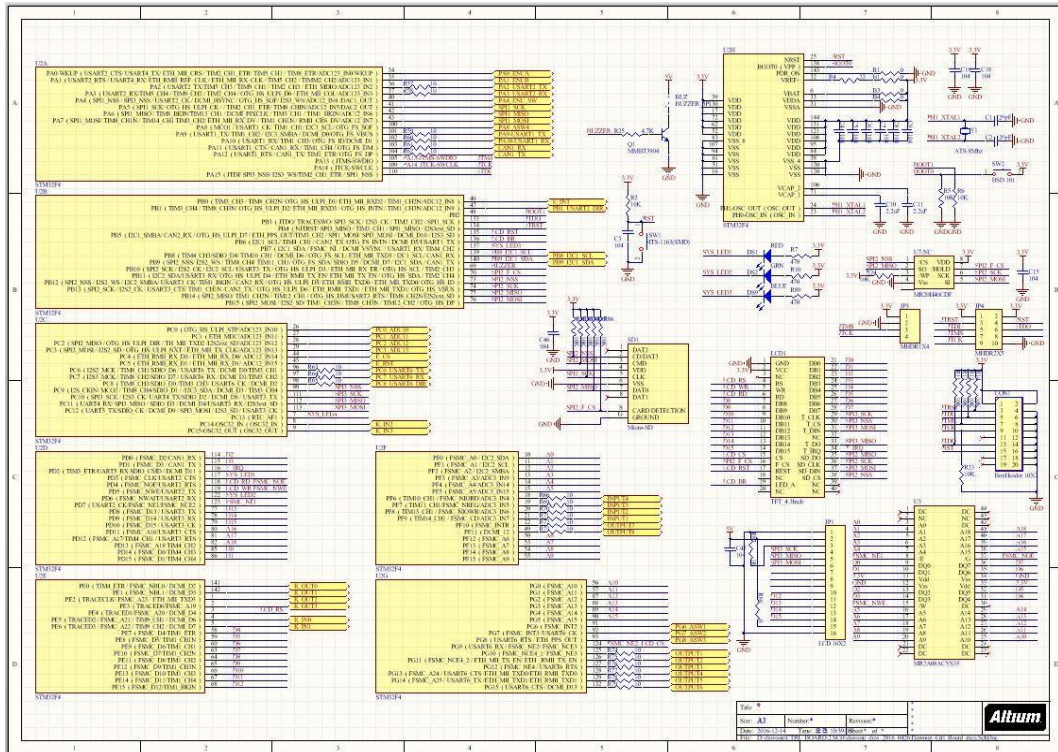
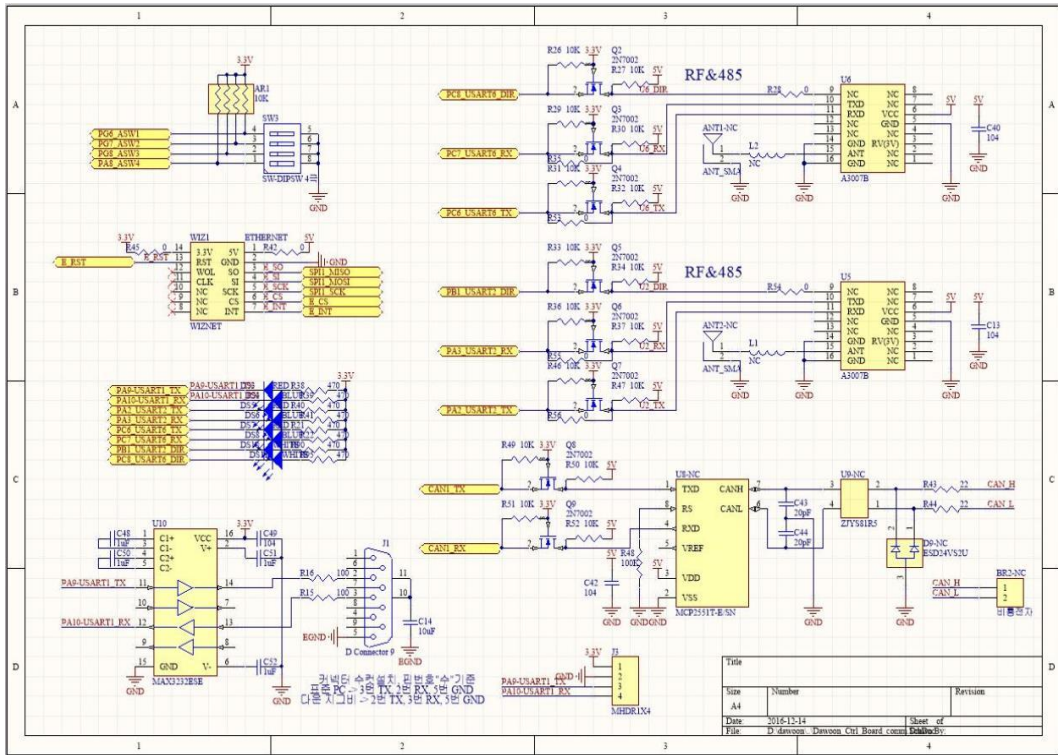


그림 46 주 제어기 회로도

(5) 주 제어기 PCB 제작

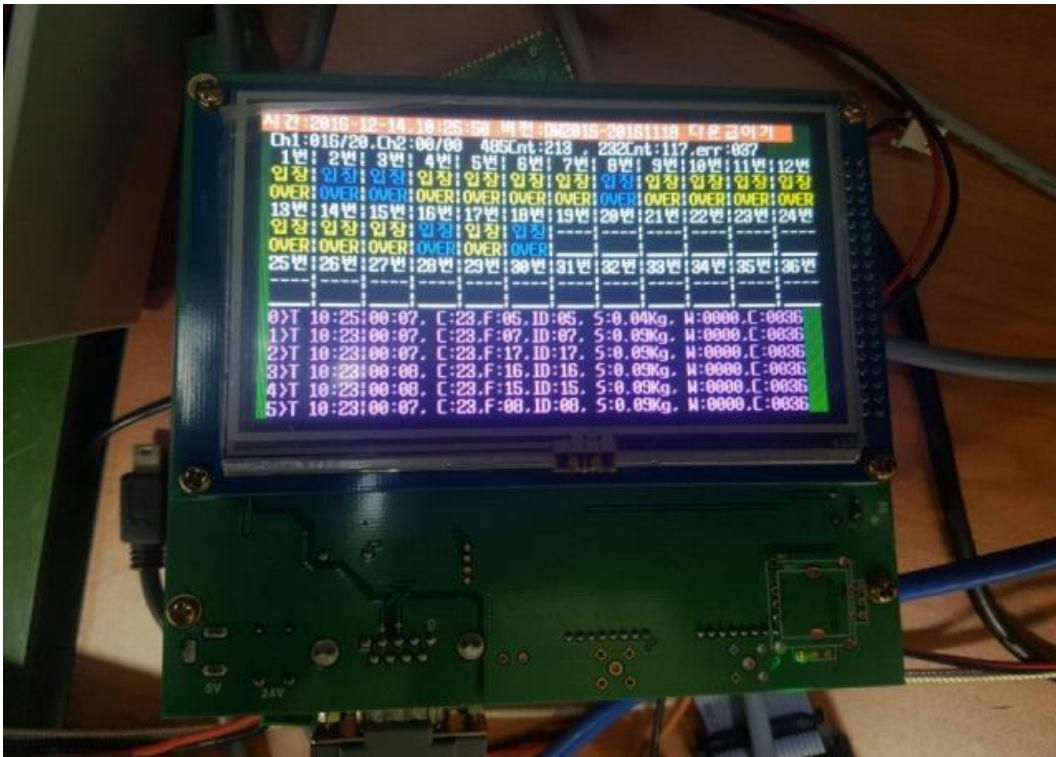
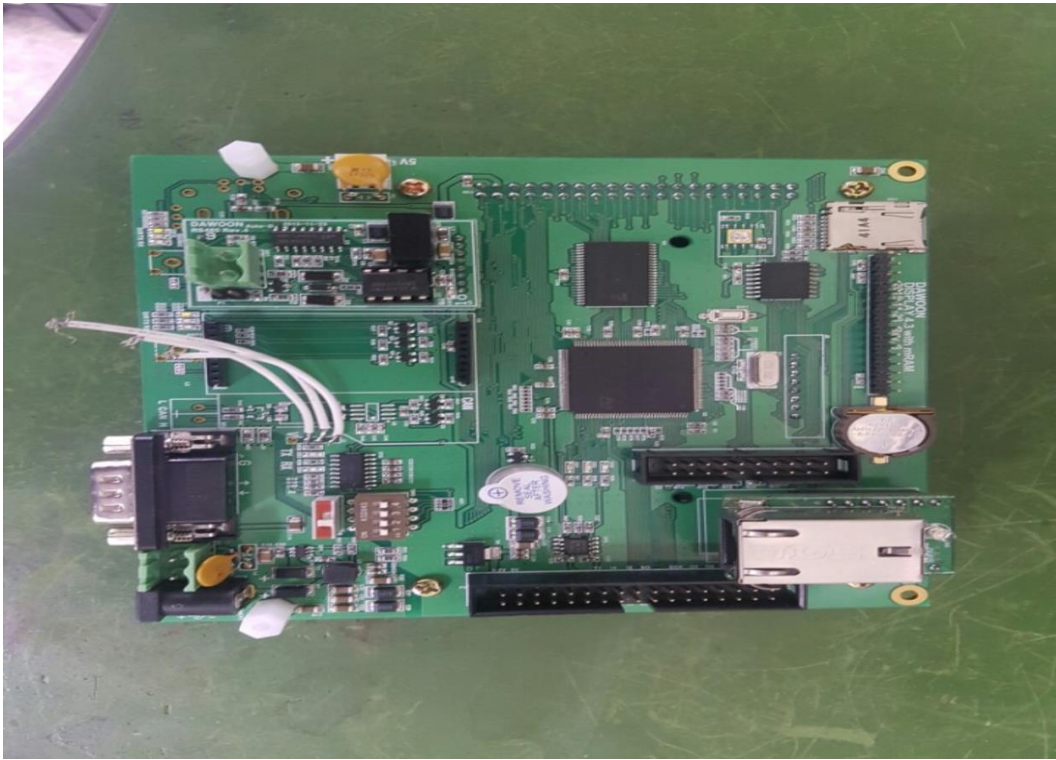
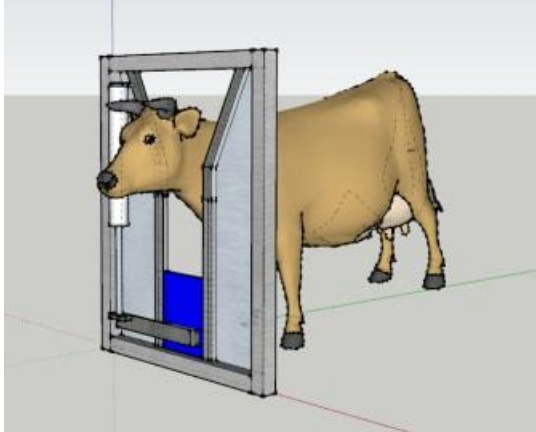
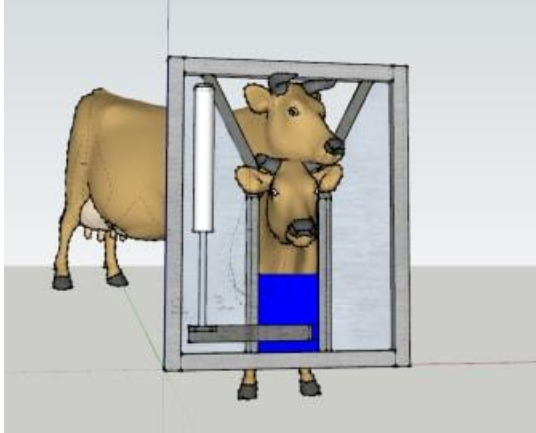


그림 47 주 제어기 PCB 완제품 제작 및 테스트 프로그램 기동

2. 대동물용 조사료섭취량 조사기 현장 요구사항 분석

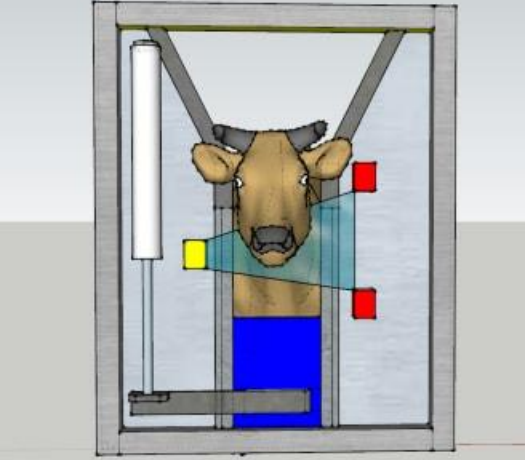
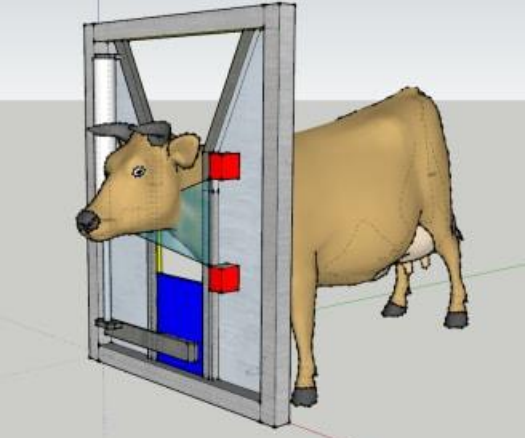
가. 게이트 안에 입장 중인 개체의 인식속도 개선 필요

- (1) 문제 인식: 섭취 중인 개체가 다른 개체로부터 공격이나 공격이 예상될 경우 섭취조를 빠져나가게 되는데, 빠져나간 자리를 새로운 개체가 입장하는데 0.5-1초 내외의 시간이 걸리게 된다. 입장해 있는 개체의 머리위에 대기했다가 약한 개체를 쫓아내고 빠져나간 자리를 채우게 되는 관계로 제어장치에서 개체가 바뀐 사실을 확인하기 못한 채 급이를 계속하게 되어 데이터의 상당한 오류가 발생됨

문제 인식	관련 이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 일반적인 사료섭취시 동작도 센서에 의해서 입장한 가축의 RFID번호를 확인 후 RFID리더는 아래측으로 내려가고 머리 좌우측에 각각 설치되어있는 적외선 센서를 이용하여 개체의 입장상태를 확인 	
<ul style="list-style-type: none"> - 사료섭취량을 측정하는데 있어서 동물들의 우열다툼 및 사료 도식관련 문제를 해결하고자 사료섭취를 제한할 수 있는 섭취량 제어 게이트를 개발해서 수개월동안 현장검증을 실시한바 여러 가지 개선점이 발견됨. - 두 마리가 경합을 벌이다가 먼저 입장해 있는 개체가 빠져나감 	

(2) 해결 방안: 적외선 센서 인식속도 및 내부 프로그램 수정

- (가) 적외선 감지장치를 발광부 1조와 수광부 2조를 이용하여 30cm 정도의 입장영역을 실시간 관리할 수 있게 하였고, 센서 감지속도를 0,2sec 단위로 향상시킴으로 소가 바뀔 경우를 즉시 파악할 수 있도록 하였다.
- (나) 소가 바뀌었을 경우, 에어 게이트를 신속하게 닫아 새롭게 입장한 개체를 쫓아내고 선행 입장개체의 사료섭취량을 정산한 후 신규 입장개체에 대한 섭취를 허락한다.

해결 방안	관련 이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 좌측에 발광각도 45도 정도의 발광용 적외선 led를 부착하고 외부 조명이나 햇볕에 의한 오동작이 없도록 측정 주파수 성분을 함께 발광하도록 한다. - 우측에 약 20cm 간격으로 수신센서를 부착하고 각각의 수신창에 적외선 신호가 정상적으로 수신되는지를 전용 MCU가 검사하여 적외선 시그널이 0.2초 이상 입력되면 가축이 없는 것으로 간주하고 가축없음 신호를 보낸다. 	
<ul style="list-style-type: none"> - 한 마리의 가축이 입장하였을 경우 사료를 먹기 위하여 목의 위치가 변화가 있게 되는데 이런 경우 적외선 센서의 영역 안에서 움직임이 있도록 설계하였다. - 단, 섭취중일 경우 두 개의 수신센서 중 최소한 하나의 센서에서 적외선의 감지가 되지 않는 영역이 있는 것이므로 두 개의 센서에서 모두 적외선이 검출된다면 소가 나간 것으로 간주하고 게이트를 닫고 정산처리 한다. - 두 마리가 경합을 하더라도 소가 바뀌는 문제가 있을 수 없도록 적외선센서의 위치 인식속도를 개선하였다. 	

나. 소의 성장속도에 대비한 센서위치 가변 문제 해결 필요

항목사육 (일당 증체량 kg)	월령	사육기간	흉위(cm)	체중(kg)	농후사료량 (kg)	1일 조사료급여량(kg)			
						벼짚	생초	사일리지	야건초
육성기 (0.7 ~ 0.8)	7	4		180	3.0	2.5	12.0	9.0	3.0
	8	5	140	200	3.0	3.0	15.0	11.0	3.5
	9	6		220	3.5	3.0	15.0	11.0	3.5
	10	7	147	240	3.5	3.0	17.0	13.0	3.5
	11	8		260	4.0	3.0	17.0	13.0	4.0
	12	9	153	280	4.0	3.5	17.0	13.0	4.0
비육전기 (0.9 ~ 1.0)	13	10	160	300	5.5	3.5	13.0	10.0	4.0
	14	11		330	6.0	3.5	13.0	7.0	3.5
	15	12	170	360	6.0	3.0	10.0	7.0	3.5
	16	13		390	7.0	3.0	10.0	7.0	3.0
	17	14	177	420	7.5	2.0	10.0	7.0	3.0
	18	15		450	8.0	2.0	10.0	7.0	2.5
비육후기 (0.7 ~ 0.8)	19	16	188	470	8.5	2.0		7.0	2.5
	20	17		490	9.0	2.0		7.0	2.5
	21	18	195	510	9.0	2.0		7.0	2.5
	22	19		530	9.0	2.0		7.0	2.5
	23	20	200	550	9.5	2.0		7.0	2.5
	24	21		570	10.0	2.0		7.0	2.5

그림 52 사육단계별, 월령별 사료 급이의 예

(1) 문제 인식: 성장개월령에 대비한 체중의 변화가 상당히 커 체중에 비례한 소의 목의 위치 또한 상당한 변화가 있는 것이 사실인데, 소의 목의 위치가 변하는 것에 대비한 적외선 센서의 위치수정이 필수적이었다. 하지만, 현장에서 적외선 센서의 위치를 자주 수정한다는 것이 쉬운 일이 아닌 관계로 상당한 불편을 야기해왔다.

(2) 해결 방안

(가) 체중에 대비한 센서의 위치를 수정이 용이하도록 새로운 디자인을 구현하였다. 송아지의 월령에 대비한 기구물의 위치를 쉽게 수정하도록 함으로 최적의 사육구조를 만들어 주고 정확한 데이터를 취득 할 수 있도록 하였다.

(나) 회전식 손잡이를 시계방향으로 회전시키면 회전력을 수직운동으로 바뀌게 되어 RFID 리더기, 적외선센서 등의 감지장치가 함께 위치를 이동할 수 있게 되어 소의 체형에 맞추어 동작할 수 있도록 개선되었다.

3. 대동물용 사료섭취량 조사기 시작품 제작 및 운영

가. 대동물용 사료섭취량 조사기 3D 도면 설계

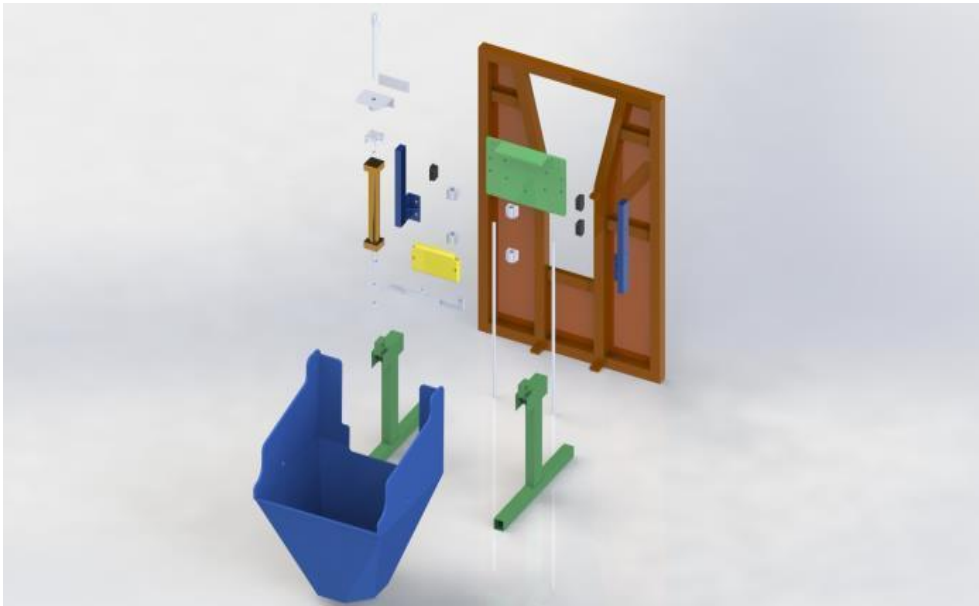


그림 53 섭취량 조사기 분리도 (게이트 및 섭취조)

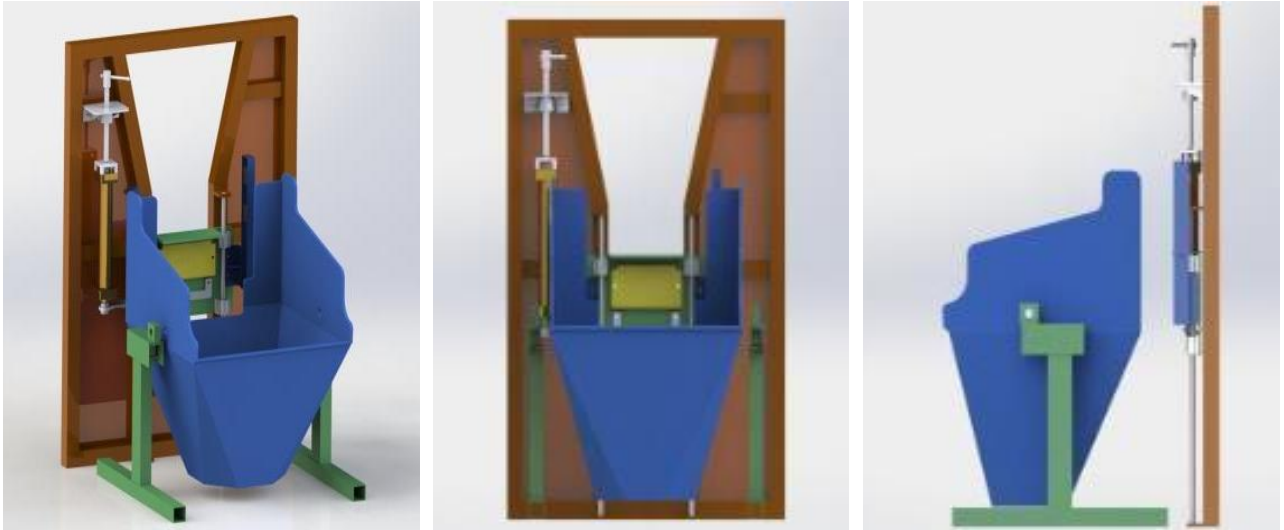


그림 54 섬취량 조사기 배치도 (섬취 대기 상태)



그림 55 섬취량 조사기 배치도 (섬취조 회전 및 청소준비 상태)



그림 56 게이트 닫힘상태(좌), 열림상태(우)

(1) 주요 제원

품명	제원	비고
사료섭취조	700*750*800	RFP로 제작된 사료섭취조
입장게이트	900*1100*100	개체제어용 에어식 게이트
적외선 개체감시센서	50*45_25	섭취중 개체의 바뀜 확인용 센서모듈
개체 인식장치	150*250*30	125Khz RFID수신장치
RFID	35*35*10	이표형식 125 khz EM4100 model
주 제어기	150*100	32비트 마이크로프로세서 기반 통합관리장치
FIM제어기	150*230*80	8비트 마이크로 프로세서 FIM 본체제어전용
인디케이터	80*45*30	로드셀 신호를 무게로 환산해주는 전자회로 오차율 1%이내
로드셀	45*120*45	250킬로그램용 2조 한 세트
전용프로그램	C# 기반	통합관리프로그램

(2) 자료기록 유형

(가) 자료기록

- ① 개체별이력기록: 이표번호,폰더번호,생년월일,체중,입적일 기초자료기록
- ② 사료 섭취가능량 설정
- ③ 사료 섭취허락군 설정
- ④ 섭취허용시간설정

(나) 섭취현황 및 개체관리

- ① 섭취량 확인
 - ㉠ 시간별 입장현황(가축의 섭취 행동여부, 건강검사): 일별 입장현황, 섭취정도를 확인하여 건강상태 검사한다. 섭취량이 일정치 않을 경우 소화불량이나 기타의 사유를 검토해 함으로서 가축에게 최적량의 사료를 공급하여 최적의 생육환경을 조성케 한다.
 - ㉡ 일별입장그래프: 사용자에게 자료를 쉽게 확인할수있도록 하기위한 기능
 - ㉢ 번식관리기록부: 번식우를 사육하는 농가에게 도움되는 기능으로 수정 및 임신관련 기록을 자동으로 계산하며, 사용자에게 중요한날을 문자서비스나, 프로그램에서 경고해 줌으로 해서 농장관리를 효율적으로 하게 만드는 기능
 - ㉣ 개체개별통계 - 사육된 개체의 통계자료를 볼 수 있게 하는 기능
 - ㉤ 섭취량 체중통계 - 최근까지의 섭취량 및 체중의 전반적인 흐름을 모조리 볼 수 있게 하여 관리자의 개체 관리의 편의성을 도모했다.
 - ㉥ 전체번식관리기록부 - 기기에 등재되어있는 모든 가축의 번식관련자료를 한눈에 볼 수 있도록 구성된 편의화면.
- ② 문자메세지 서비스
 - ㉦ 이상가축이 발생했거나, 기기의 문제발생시 관리자에게 자동으로 문자서비스를 개시함으로써 관리이상을 확인케하고 빠른 조취로 이상가축의 최소화를 실현하기 위한 기술로 기본탑재 되어있다.
 - ㉧ 인터넷에 시스템이 연결되어있다면, 빠른 서비스가 이루어져야 한다.

㉔ 섭취불량우나 기기고장, 번식관리관련 문제점에 대해서 서비스가 가능해야 한다.

(다) 동작방법

- ① 전원과 동시에 개체 제어용 게이트가 닫힌다.
- ② 사료조 잔량을 확인하고 급이를 준비한다.
- ③ RFID 리더에서 개체가 인식되면 주제어기로 해당 개체의 급이가능성을 문의 한다.
- ④ 급이 지시서가 내려오면 사료조 잔량을 확인해 두고 게이트를 열어 급이를 시작한다.
- ⑤ 섭취중 적외선 센서에서 가축이 벗어나면 개체가 바뀔수 있으므로 게이트를 닫은다음 다음 개체를 기다린다.
- ⑥ 60초동안 동일한 개체의 입장이 없으면 이전의 섭취 자료를 정리후 전송 한다.
- ⑦ 60초 이내에 재입장이 확인되면 기존의 섭취량을 기준으로 추가 급이를 한다.
- ⑧ 신규 개체의 입장이 확인되면 기존의 섭취자료를 전송하고 정산후 신규개체의 섭취를 가능하도록 게이트를 연다.

(라) 검증사항

- ① 전자저울의 정확성 확인 (오차율): 1%이내 오차율 제공가능
- ② 섭취자료의 정확성 확인 (빠지는 자료가 발생하지는 않는가?): 사료섭취중 소가 발생시키는 사료허실문제로 인해 섭취자료 정확성 3%이내 확보에 어려움 있음.
- ③ 개체인식의 정확성 확인 (등록되지 않은 개체의 인식은 없는가?): 개체인식 오류 없음 100% 확보
- ④ 기기사용 연한: 최대 10년 가능(노출부위 스텐레스로 제작), 사료급이조(FRP재질로 제작)

나. 대동물용 사료섭취량 조사기 제작 및 현장설치(2차년도)

(1) 설치장소, 일자: 전남 강진 소재 시범농가, 2017년 9월

(가) 설치대수: 8대

(나) 설치 과정

- ① 메커니즘과 조립한 사료섭취량 조사기를 검증, 안정성 확보
- ② 현장검증을 위한 준비



(4) 설치 운영 결과

- (가) 섭취량 조사기 청소를 용이하게 하기 위하여 회전을 시킬 경우 회전 반경확보를 위하여 섭취조와 가축 보정틀과의 간격이 10 cm 이상 떨어지는 문제점 개선 요구됨
- (나) 섭취조 바닥부분의 형상, FRP 금형 수정 필요
- (다) 사료섭취조와 가축과의 간격이 좁을수록 섭취조 주변의 사료 허실이 적어짐
- (라) 현장에 부합하는 펌웨어 제작 및 업데이트 요구됨

(2) 설치장소, 일자: 충남 청양 축산기술연구소, 2017년 12월

(가) 설치대수: 24대

(나) 설치 과정

설치 과정



그림 61 섭취량조사기 기기 조립 및 설치과정



그림 62 섭취량조사기 설치완료



그림 63 섭취량조사기 제어용 PC

사료 섭취 기록(서산 한우계량 사업소)

데시보드 |
 농장 데시보드 |
 TMR관리 |
 대리점 데시보드

농장 데시보드

홈 / 농장관리 / 농장 데시보드

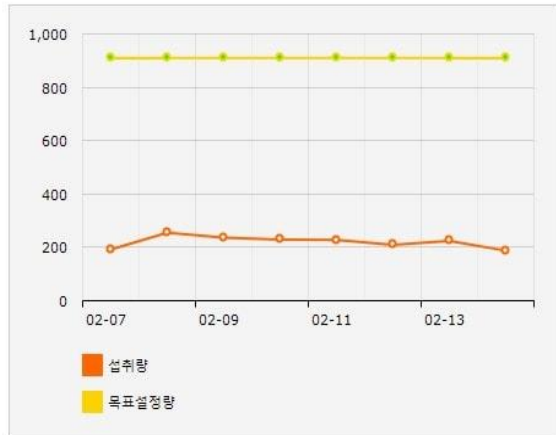
서산-한우개량사업소 요약정보 / 대표 : 한우개량사 농장방문

총 사육두수: 30 두

구분	사료1		사료2		사료3	
	섭취량	목표량	섭취량	목표량	섭취량	목표량
오늘	0Kg	0Kg	0Kg	310.00Kg	187.75Kg	600.00Kg
어제	0Kg	0Kg	0Kg	310.00Kg	224.35Kg	600.00Kg
전일대비	0%		0%		83.48%	

	총섭취량	총설정 목표량	Graph
오늘	187.75Kg	910.00Kg	<div style="width: 20.63%; background-color: #f8d7da; border: 1px solid #ccc;"></div> 20.63%
-1일	224.35Kg	910.00Kg	<div style="width: 24.65%; background-color: #d1ecf1; border: 1px solid #ccc;"></div> 24.65%
-2일	209.40Kg	910.00Kg	<div style="width: 23.01%; background-color: #d1ecf1; border: 1px solid #ccc;"></div> 23.01%
-3일	228.10Kg	910.00Kg	<div style="width: 25.07%; background-color: #d1ecf1; border: 1px solid #ccc;"></div> 25.07%
-4일	229.55Kg	910.00Kg	<div style="width: 25.23%; background-color: #d1ecf1; border: 1px solid #ccc;"></div> 25.23%

주간섭취량



사료섭취

Total : 30

□	개체	오늘급여	비율	어제급여	비율
1	172532/27	3.40/30.00	11.33%	8.65/30.00	28.83%
2	172539/28	9.60/30.00	32.00%	12.55/30.00	41.83%
3	172544/29	4.05/30.00	13.50%	5.85/30.00	19.50%
4	172545/30	6.95/30.00	23.17%	8.20/30.00	27.33%
5	172546/31	7.55/40.00	18.88%	9.60/40.00	24.00%
6	172549/32	6.15/30.00	20.50%	5.55/30.00	18.50%
7	172555/33	7.05/30.00	23.50%	8.00/30.00	26.67%
8	172557/34	7.95/30.00	26.50%	7.75/30.00	25.83%
9	172579/35	6.40/30.00	21.33%	8.25/30.00	27.50%
10	172581/36	6.90/30.00	23.00%	9.75/30.00	32.50%
11	172580/37	8.30/30.00	27.67%	7.20/30.00	24.00%

체중관리

Total : 30

□	개체	최근측정일	최근체중	최근전일	최근전체중
1	1/55	2019-02-14	2.60	2019-02-13	2.30
2	2/56	2019-02-14	5.30	2019-02-13	2.90
3	3/27	2019-02-14	4.80	2019-02-13	3.00
4	4/28	2019-02-14	4.10	2019-02-13	3.70
5	5/29	2019-02-14	2.80	2019-02-13	2.90
6	6/30	2019-02-14	3.10	2019-02-13	3.70
7	7/31	2019-02-14	2.90	2019-02-13	2.10
8	8/32	2019-02-14	4.10	2019-02-13	3.40
9	9/33	2019-02-14	3.60	2019-02-13	4.10
10	10/34	2019-02-14	3.30	2019-02-13	2.90
11	11/35	2019-02-14	3.20	2019-02-13	2.20

번식관리

Total : 0

알림

Total : 0

사료 섭취 기록(서산 한우계량 사업소)

대시보드 개체관리 번식관리 사료급이현황 이상개체 알림 농장관리 작유현황 Camera 발정관리 TMR관리

금일급이 (2019-02-14)

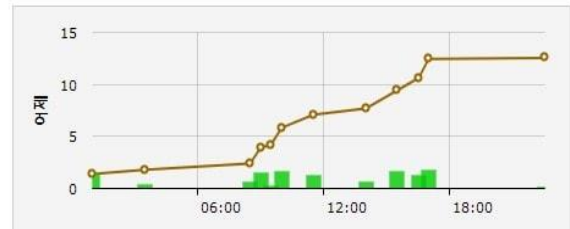
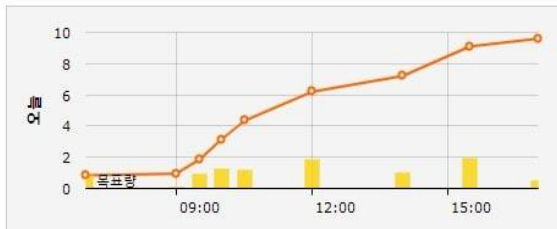
총섭취량 : 188.05/910(20.7%) Total : 30

□	이표	Q	농장개체	RFID	그룹	금일섭취	금일섭취(%)	전일섭취(%)	전일섭취	체중(Kg)	번식상태	구분
1	182146	Q	55	1	1	17.10/30.00	57.00%	39.83%	11.95/30.00	2.60		
2	182159	Q	56	2	1	6.05/30.00	20.17%	29.17%	8.75/30.00	4.70		
3	172532	Q	27	3	1	3.40/30.00	11.33%	28.83%	8.65/30.00	4.80		
✓	172539	Q	28	4	1	9.60/30.00	32.00%	41.83%	12.55/30.00	4.10		
5	172544	Q	29	5	1	4.05/30.00	13.50%	19.50%	5.85/30.00	2.80		
6	172545	Q	30	6	1	6.95/30.00	23.17%	27.33%	8.20/30.00	3.10		
7	172546	Q	31	7	1	7.55/40.00	18.88%	24.00%	9.60/40.00	2.90		
8	172549	Q	32	8	1	6.15/30.00	20.50%	18.50%	5.55/30.00	4.10		
9	172555	Q	33	9	1	7.05/30.00	23.50%	26.67%	8.00/30.00	3.60		
10	172557	Q	34	10	1	7.95/30.00	26.50%	25.83%	7.75/30.00	3.30		

< 1 >

행동자료(RFID: 4 / 농장개체: 28 / 입장횟수 : 9)

표보기



월간섭취

표보기

연간섭취



사료 섭취 기록(서산 한우계량 사업소)

대시보드 |
 개체관리 |
 번식관리 |
 사료급이현황 |
 이상개체 알림 |
 농장관리 |
 작유현황 |
 Camera |
 발정관리 |
 TMR관리

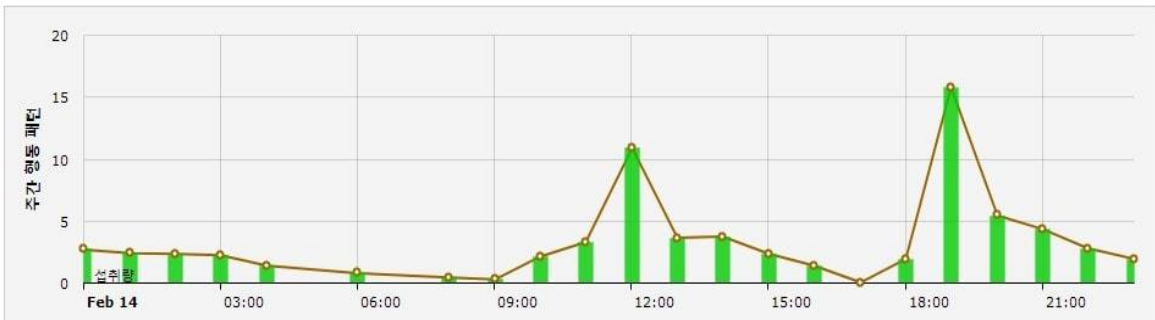
□	RFID	농장개체번호	18.03월	04월	05월	06월	07월	08월	09월	10월	
1	1	55	0.00/100.00	90.30/490.00	215.35/930.00	112.45/420.00	243.95/930.00	116.30/420.00	98.45/330.00	86.15/900.00	163.00
2	2	56	0.00/100.00	72.90/490.00	193.90/930.00	89.40/420.00	231.35/930.00	85.95/420.00	88.40/330.00	45.55/900.00	12.00
3	3	27	0.00/100.00	69.35/490.00	184.05/930.00	101.00/420.00	282.25/930.00	114.10/420.00	92.10/330.00	106.65/900.00	134.00
4	4	28	0.00/100.00	114.70/490.00	141.75/930.00	59.40/420.00	251.60/930.00	111.65/420.00	91.40/330.00	184.40/900.00	181.00
5	5	29	0.00/100.00	76.85/490.00	176.85/930.00	78.60/420.00	205.25/930.00	104.15/420.00	80.85/330.00	143.00/900.00	156.00
6	6	30	0.00/100.00	78.55/490.00	186.10/930.00	91.05/420.00	264.15/930.00	86.10/420.00	93.50/330.00	105.15/900.00	131.00
7	7	31	0.00/100.00	80.90/640.00	129.85/1240.00	66.65/560.00	171.40/1240.00	71.10/560.00	71.65/440.00	136.15/1200.00	144.00
8	8	32	0.00/100.00	53.70/490.00	179.85/930.00	79.95/420.00	188.90/930.00	48.80/420.00	67.70/330.00	167.35/900.00	198.00
9	9	33	0.00/100.00	36.45/490.00	160.45/930.00	93.00/420.00	259.00/930.00	109.55/420.00	99.65/330.00	60.45/900.00	147.00

섭취현황 및 체중(3/27)

섭취현황



최근 한주간 행동 패턴



사료 섭취 기록(서산 한우계량 사업소)

대시보드
개체관리
번식관리
사료급이현황
이상개체 알림
농장관리
작유현황
Camera
발정관리
TMR관리

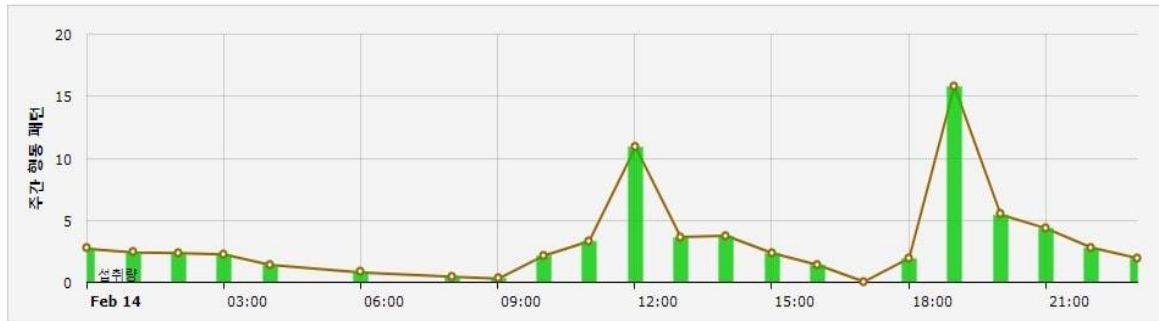
□	RFID	농장개체번호	08월	09월	10월	11월	12월	19.01월	02월	이표
1	1	55	116.30/420.00	98.45/330.00	86.15/900.00	163.65/900.00	141.55/930.00	261.75/930.00	215.75/420.00	182146
2	2	56	85.95/420.00	88.40/330.00	45.55/900.00	12.30/900.00	85.90/930.00	203.45/930.00	99.30/420.00	182159
✓	3	27	114.10/420.00	92.10/330.00	106.65/900.00	134.20/900.00	130.30/930.00	184.75/930.00	90.70/420.00	172532
4	4	28	111.65/420.00	91.40/330.00	184.40/900.00	181.25/900.00	201.90/930.00	189.30/930.00	142.30/420.00	172539
5	5	29	104.15/420.00	80.85/330.00	143.00/900.00	156.25/900.00	152.25/930.00	172.90/930.00	85.50/420.00	172544
6	6	30	86.10/420.00	93.50/330.00	105.15/900.00	131.55/900.00	149.70/930.00	195.60/930.00	111.85/420.00	172545
7	7	31	71.10/560.00	71.65/440.00	136.15/1200.00	144.55/1200.00	185.35/1240.00	218.75/1240.00	125.20/560.00	172546
8	8	32	48.80/420.00	67.70/330.00	167.35/900.00	198.10/900.00	200.05/930.00	195.75/930.00	95.15/420.00	172549
9	9	33	109.55/420.00	99.65/330.00	60.45/900.00	147.15/900.00	117.05/930.00	80.60/930.00	110.65/420.00	172555

총섭취 현황

Total : 259 x ⚙ 그래프

No	날짜	사료1(g)	사료2(g)	사료3(g)	사료4(g)	사료5(g)	총섭취량(Kg)	제증(Kg)
1	2019-02-14	0	0	3400	0	0	3.40	4.80
2	2019-02-13	0	0	8650	0	0	8.65	3.00
3	2019-02-12	0	0	2100	0	0	2.10	4.80
4	2019-02-11	0	0	2900	0	0	2.90	5.20
5	2019-02-10	0	0	8850	0	0	8.85	3.50
6	2019-02-09	0	0	8150	0	0	8.15	5.50
7	2019-02-08	0	0	5950	0	0	5.95	2.20

최근 한주간 행동 패턴



4. 대동물용 물 섭취량조사기(음수량 조사기) 개발

가. 물 섭취량조사기(음수량 조사기) 개요

- (1) 개체인식이 가능한 RFID 설비를 통하여 음수기에 입장해있는 가축 개체를 확인
- (2) 음수기 체류시간 확인을 통하여 가축의 음수량을 실시간으로 측정 및 데이터를 제공하는 시스템 구현

나. 물 섭취량조사기(음수량 조사기) 설계 및 제작

- (1) 물 섭취량조사기(음수량 조사기) 설계도

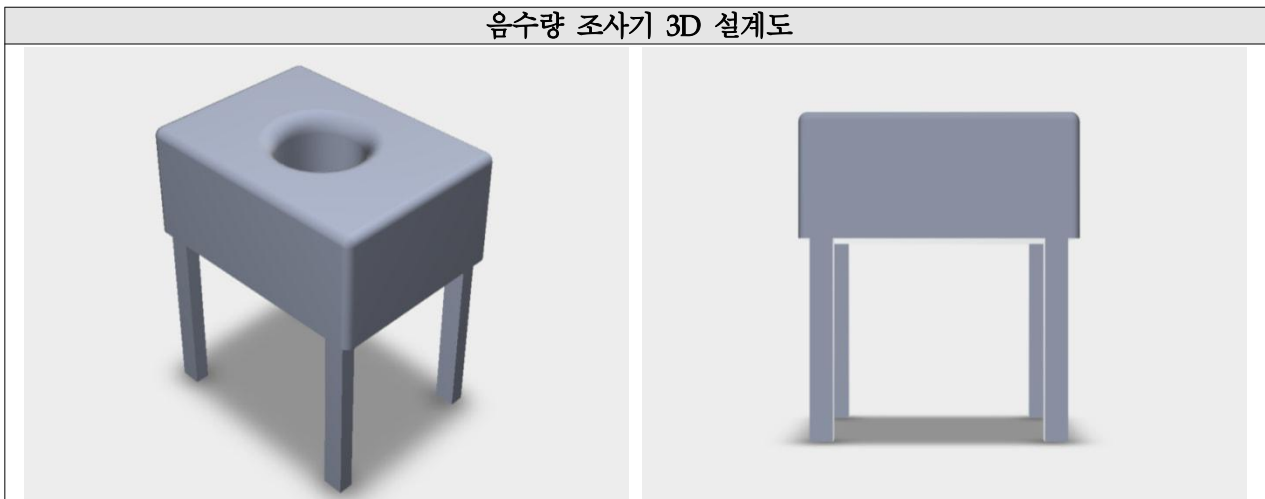


그림 68 급수조 받침대 설계도

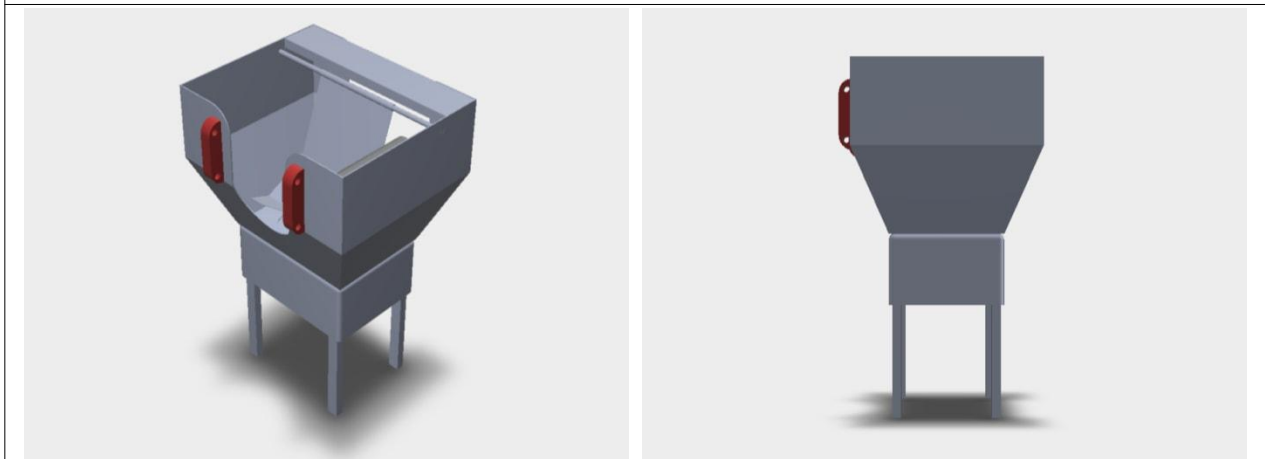


그림 69 급수조 및 급수조 받침대 조립도

음수량 조사기 3D 설계도



그림 70 음수량조사기 전면부

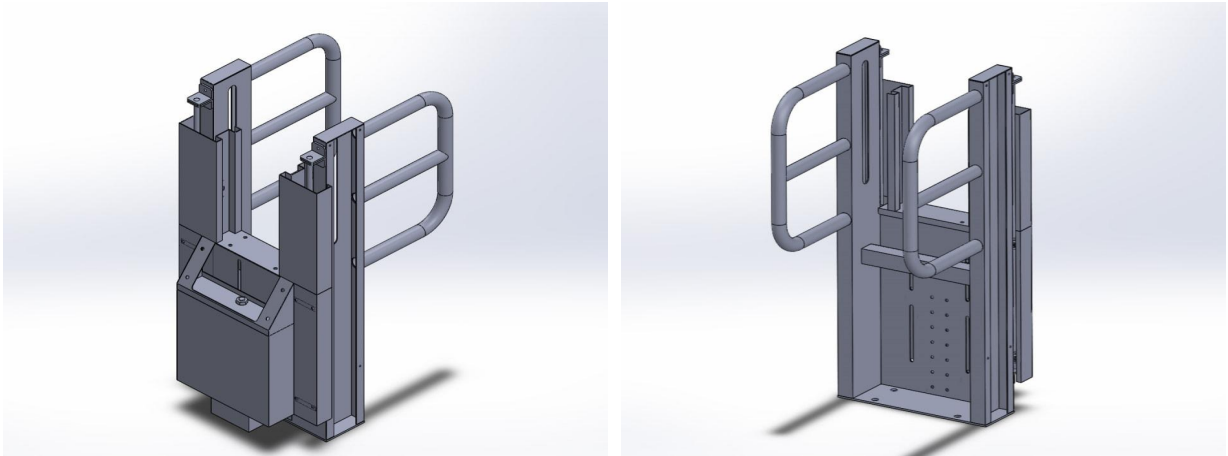


그림 71 음수량조사기 전면부, 측면부 조립도

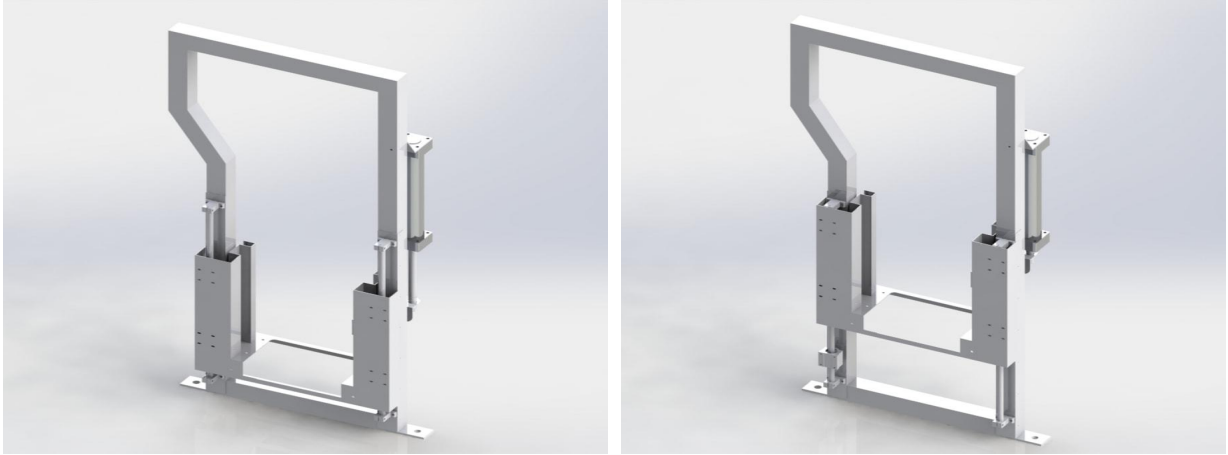


그림 72 음수량조사기 프레임 등각도

음수량 조사기 3D 설계도

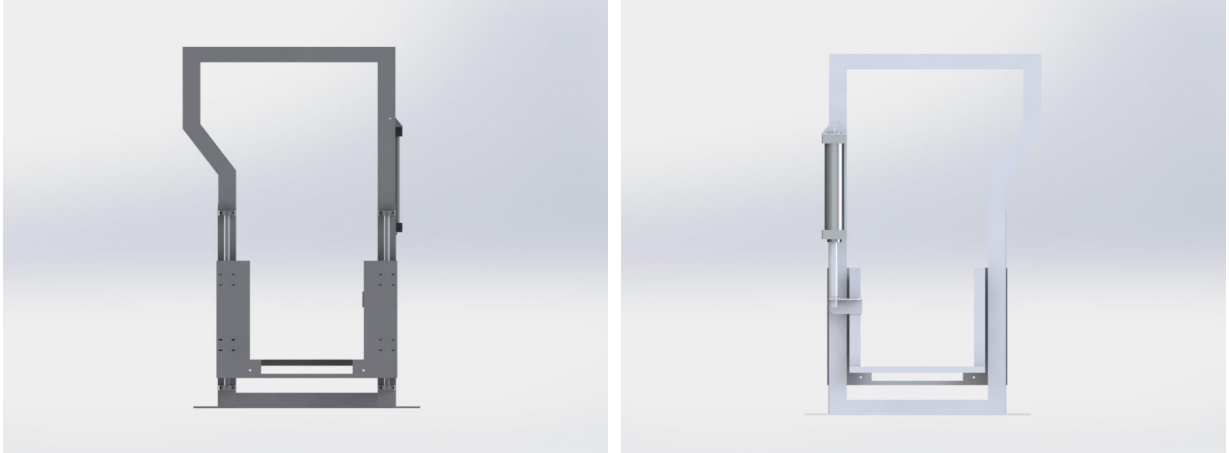


그림 73 음수량조사기 프레임 정면도, 후면도

(2) 물 섭취량조사기(음수량 조사기) 실제작품 제작 및 동작 검사



그림 74 음수량 조사기 실제작품 제작



그림 75 음수량 조사기(송아지용) 실제작품 제작



그림 76 음수량 조사기 실제작품 동작 검증

5. 대동물용 스마트 체중 측정장치 개발

가. 스마트 체중 측정장치 개요

- (1) 대동물의 체중을 측정하기 위한 전자동 체중측정 솔루션
- (2) 무인화된 시스템으로 개체의 체중을 측정
 - (가) 기존에는 관리자가 저울에 가축을 위치시키고 체중을 측정한 후 완료되면 가축을 관리자가 이동시키는 형태로 체중을 측정함
 - (나) 한우의 경우 한 달에 최소 1회 이상의 체중을 측정하여 일당증체량(하루 동안 증가된 체중)을 확인 후 급이해야 함. 스마트 체중 측정의 신속한 보급이 필요



그림 77 대동물용 체중 측정장치

- (3) 측정된 자료를 자동으로 웹에 전송 및 기록 보관
 - (가) 섭취효율을 알기 해서는 체중의 정확한 증가 상태를 확인해야 함
 - (나) 측정된 체중정보는 사용자에게 직관적으로 보고되고, 수기나 암기를 통해서 자료를 관리
 - (다) 전산화를 통한 자동 관리의 필요성 대두

나. 스마트 체중 측정장치 관련 선행 기술

- (1) 해외에서도 전자동 체중측정 시스템에 대한 개발이 계속되고 신제품이 출시되고 있음
 - (가) 소의 진행에 장애를 주지 않고 RFID기반의 체중 측정 기술을 발전
 - (나) 게이트가 없이 이동 중인 개체의 평균체중을 계산하여 측정
 - (다) 퇴장부분에 게이트를 부착하여 체중측정이 완료된 상태에서 체중을 기록하고 게이트를 개폐하여 소의 이동을 통제
 - (라) 전자저울, RFID, 게이트로 구성됨



그림 78 해외 전자동 체중측정 시스템 사례

(2) 국내 여건도 해외와 동일한 방법으로 체중을 측정 기록 관리하여 상당한 노동력이 필요



그림 79 국내 체중측정 시스템 연구진

(3) 최근 소의 체적을 측정하는 것으로 체중을 예측하는 기술이 개발됨

(가) 소의 체적 측정용 수동척도가 개발되어 공급중이나 정밀 사양관리를 위한 정밀 체중 계로는 사용 불가함

(나) 전자 저울에 의한 체중 측정이 필요함

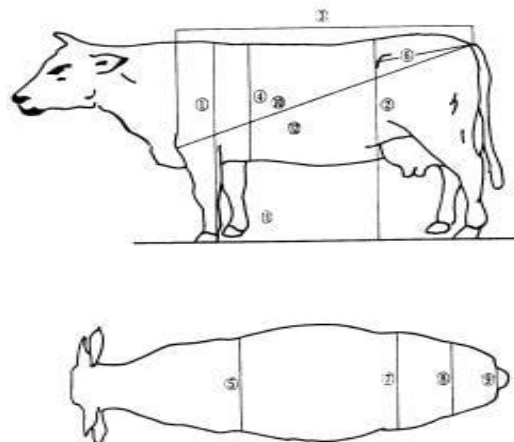


그림 80 체적을 이용한 소의 체중 측정

다. 스마트 체중 측정장치 국산화 개발

(1) 개요

- (가) 한우 전용 체중계를 개발, 보유한 기술을 바탕으로 스마트 체중계를 개발 시작함. 한우 체중을 측정하기 위한 로드셀의 강성 및 기능 구조에 대한 기술력 확보
- (나) 보통 한우나 젖소의 경우 개체 체중이 1톤 내외를 가지고 있으므로 로드셀의 안정성을 위해 각각의 로드셀에 1톤의 하중을 견딜 수 있도록 함. 무리한 사용 및 가축의 날뛰는 행동 등으로 셀이 파괴되지 않도록 4배의 하중을 견딜 수 있도록 설계하여 합산 4톤의 부하를 견딜 수 있도록 함
- (다) 가축 분노가 많은 지역에 설치 운용되므로 로드셀 가이드 등 대부분의 부품은 스테인리스 소재를 사용하여 제작함

(2) 스마트 체중 측정장치 외부 프레임 설계

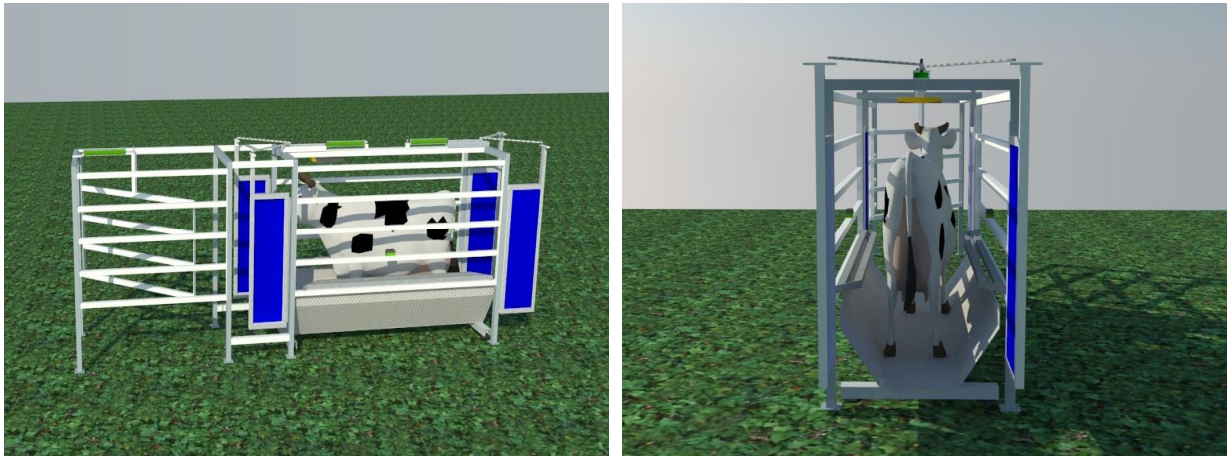
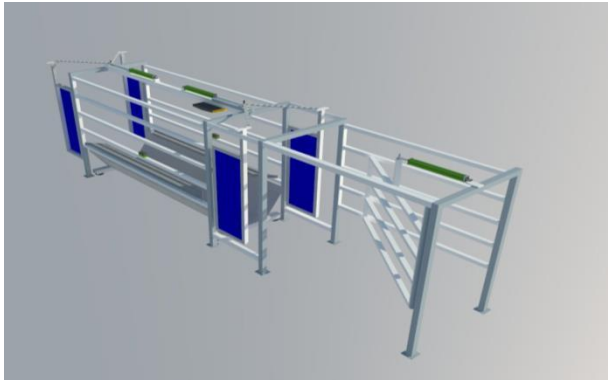
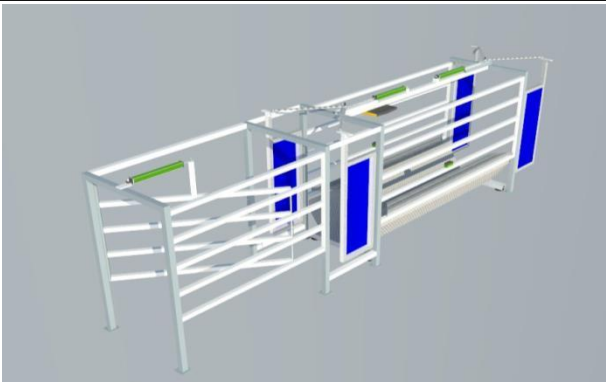

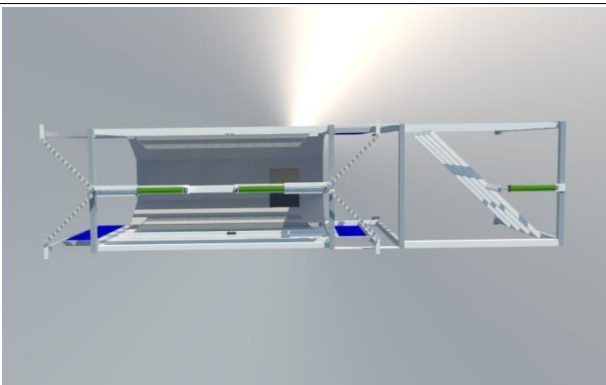


그림 81 스마트 체중측정시스템 설계도

- (가) 기존 한우 전용 전자저울 개발 경험을 바탕으로 전자동 체중측정시스템 설계
- (나) 입장게이트, 퇴장게이트, 선별게이트 총 3종의 에어 게이트 구비
- (다) UHF대역 RFID 인식장치 사용(2-2.5 m 인식가능)
- (라) 4톤 측정 가능 로드셀 사용
- (마) 적외선 개체인식센서 자체 개발품 사용
- (바) 동물의 행동을 고려한 디자인 및 저울 절곡각도 구현

설명	스마트 체중 측정장치 설계
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 측면도 	
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 측면도 	
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 후면도 - 전자저울 절곡 각도 확인 - 입장 개체가 내부에서 회전방지기능 	
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 측면도 	

설명	스마트 체중 측정장치 설계
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 측면도 	
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 측면도 - 전자저울 시스템 구성도 	
<ul style="list-style-type: none"> - 세부 구성도 3D 실측 도면 윗면도 - 에어피스톤 배치 및 게이트 동작설명 	

(3) 스마트 체중 측정장치 세부 구성요소 설계

세부 구성요소 3D 설계

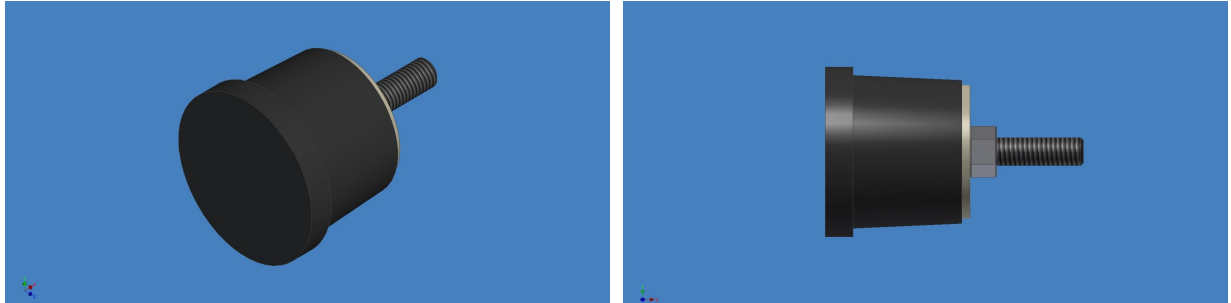


그림 89 로드셀 마개용 방진고무

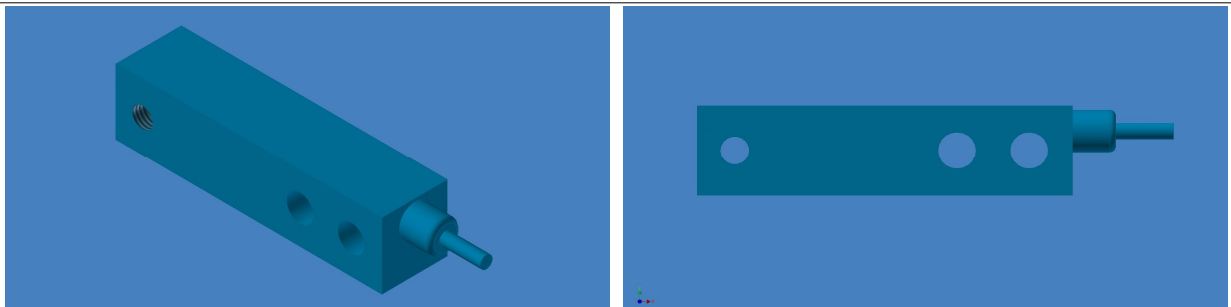


그림 90 로드셀

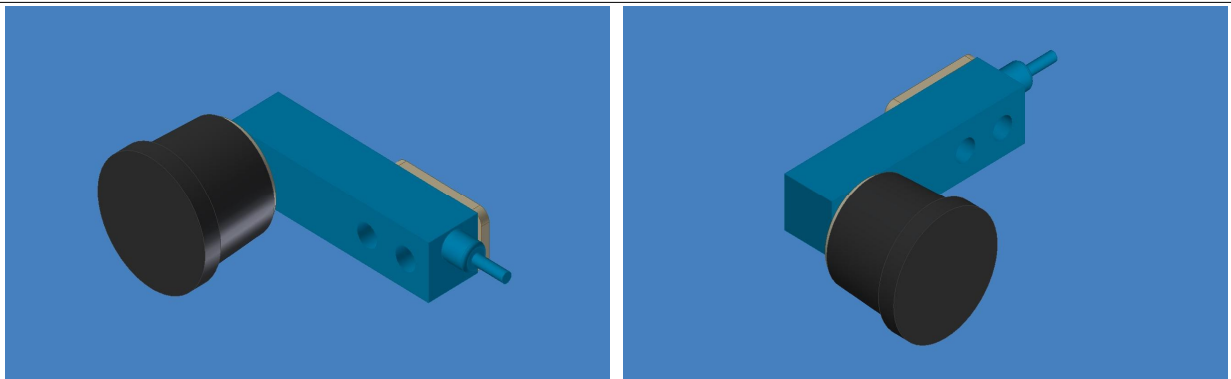


그림 91 로드셀 마개용 방진고무 조립

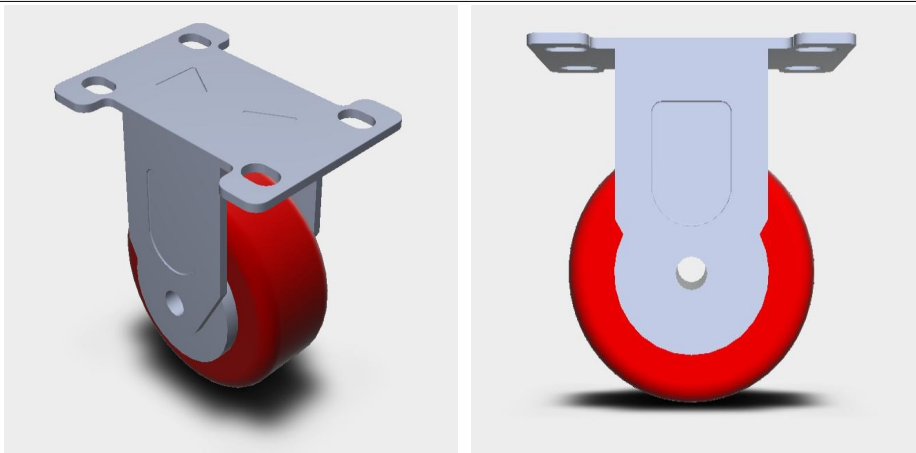


그림 92 우레탄 바퀴

세부 구성요소 3D 설계

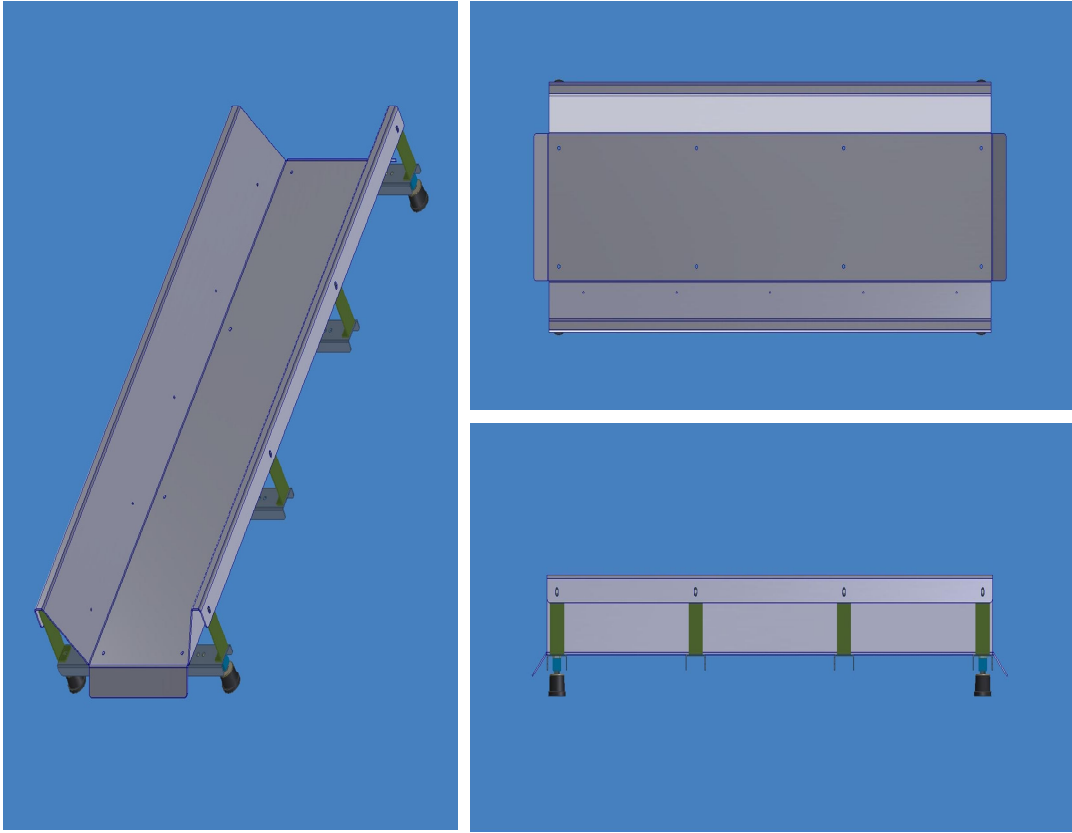


그림 93 체중 측정장치

(4) 스마트 체중 측정장치 시작품 제작



그림 94 스마트 체중 측정장치 시작품 제작

(5) 스마트 체중 측정장치 제어기 제작

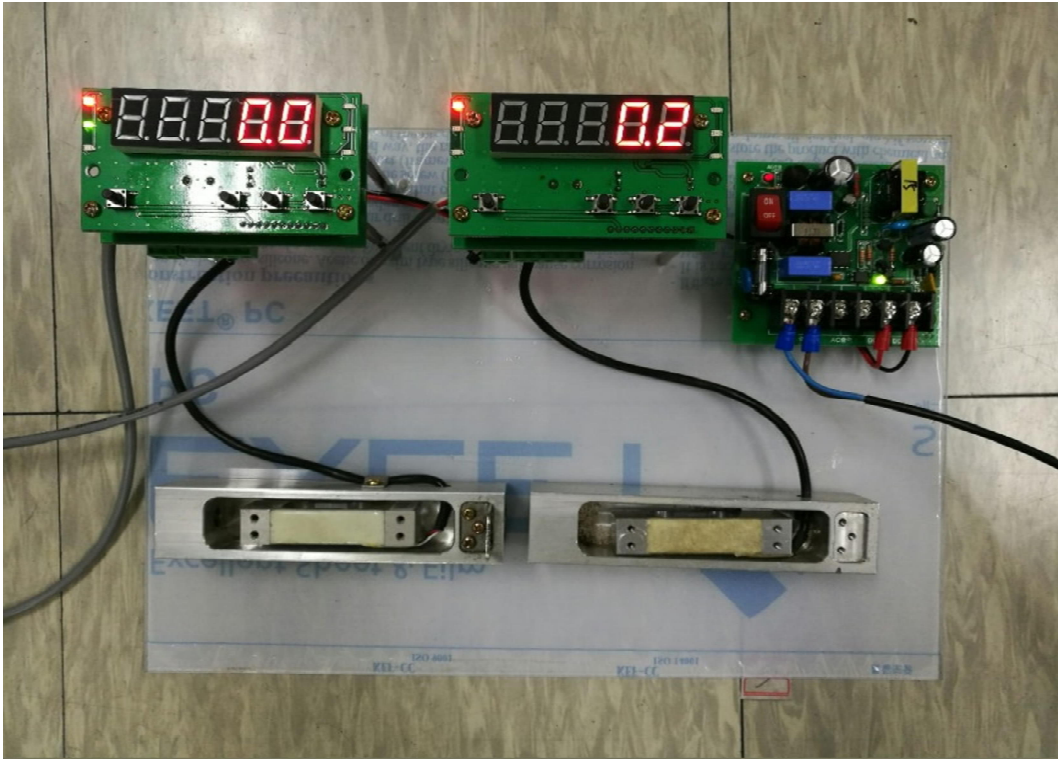


그림 95 전자저울 제어기 내부 제작



그림 96 전자저울 제어기 외부 프레임 및 제작 완료 상태

(6) 스마트 체중 측정장치 현장설치(



그림 97 스마트 체중 측정장치 시험설치



그림 98 스마트 체중 측정장치 시험 운영

(7) 스마트 체중 측정장치 현장설치

사료섭취기록 및 체중 측정 기록(안성 소재 농가)

안성-우농목장

농촌진흥청
국립축산과학원

대시보드 개체관리 번식관리 사료급여현황 이상개체 알림 농장관리 환경설정

대시보드 홈 / 농장관리 / 대시보드

요약정보

총 사육두수: 98 두

구분	사료1		사료2		사료3	
	섭취량	목표량	섭취량	목표량	섭취량	목표량
오늘	63.36Kg	104.20Kg	45.76Kg	78.60Kg	0Kg	0Kg
어제	84.81Kg	104.20Kg	59.84Kg	78.60Kg	0Kg	0Kg
전일대비	75%		76.27%		0%	

	총섭취량	총설정 목표량	Graph
오늘	109.12Kg	182.80Kg	59.69%
-1일	144.65Kg	182.80Kg	79.13%
-2일	144.32Kg	182.80Kg	78.95%
-3일	144.54Kg	182.80Kg	79.07%
-4일	144.43Kg	182.80Kg	79.01%

주간섭취량

사료섭취 Total : 98

□	개체	오늘급여	비율	어제급여	비율
1	1284-146...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
2	1284-146...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
3	1284-149...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
4	1290-442...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
5	1290-443...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
6	1290-455...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
7	1290-455...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
8	1315-966...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
9	1315-966...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
10	1315-970...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%
11	1316-106...	3.41/4.40	77.50%	4.51/4.40	102.5%

체중관리 Total : 59

□	개체	최근측정일	최근체중	최근전일	최근전체중
1	1/9001	2019-02-08	21.00	2019-02-09	21.00
2	2/9002	2019-02-08	31.00	2019-02-09	31.00
3	3/9003	2019-02-08	40.00	2019-02-09	40.00
4	4/9004	2019-02-08	40.00	2019-02-09	40.00
5	5/9005	2019-01-09	111.00	2019-01-08	147.00
6	6/9006	2019-01-09	115.00	2019-01-08	144.00
7	7/9007	2019-02-08	21.00	2019-02-09	21.00
8	8/9008	2019-02-08	31.00	2019-02-09	31.00
9	9/9009	2019-02-08	31.00	2019-02-09	31.00
10	10/9010	2019-02-08	40.00	2019-02-09	40.00
11	11/9011	2019-01-30	40.00	2019-01-28	40.00

번식관리 Total : 0

□	개체	상태	출산예정일	남은날	견유일	출산일
결과가 없습니다.						

일정 Total : 0

□	개체	일정	제목	등록일	내용
결과가 없습니다.					

사료섭취기록 및 체중 측정 기록(안성 소재 농가)

https://www.cowplan.co.kr/feeding.html



안성-우농목장

대시보드 | 개체관리 | 번식관리 | 사료급이현황 | 이상개체 알림 | 농장관리 | 환경설정

사육중

No.	이표	농장개체
1	1284-14658	9007
2	1284-14699	9022
3	1284-14971	9017
4	1290-44230	9002
5	1290-44393	9005
6	1290-45579	9031
7	1290-45587	9024
8	1315-96633	9012
9	1315-96641	9009
10	1315-97099	9033
11	1316-10674	9032
12	1316-10746	9008
13	1316-11482	9018
14	1316-11675	9019
15	1316-11691	9034
16	1316-12008	9025
17	1316-12442	9020
18	1316-12750	9016
19	1317-08125	9030
20	1317-09683	9014
21	1317-10484	9001
22	1317-11959	9028

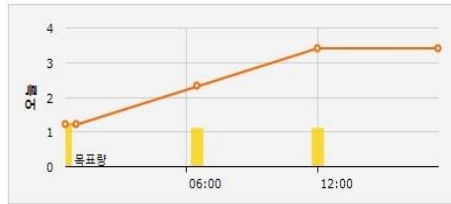
금일급이 (2019-02-14)

총섭취량 : 109.12/182.8(59.7%) Total : 98

이표	농장개체	RFID	그룹	금일섭취	금일섭취(%)	전일섭취(%)	전일섭취	체중(Kg)	번식상태	구분
1317-10484	9001	1	4	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	21.00		출령 : 5
1290-44230	9002	2	2	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	31.00		출령 : 5
1326-19743	9003	3	1	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	40.00		출령 : 5
1325-91048	9004	4	1	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	40.00		출령 : 5
1290-44393	9005	5	3	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	111.00		출령 : 5
1323-35775	9006	6	3	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	115.00		출령 : 5
1284-14658	9007	7	4	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	21.00		출령 : 5
1316-10746	9008	8	2	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	31.00		출령 : 5
1315-96641	9009	9	2	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	31.00		출령 : 5
1325-98937	9010	10	1	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	40.00		출령 : 5

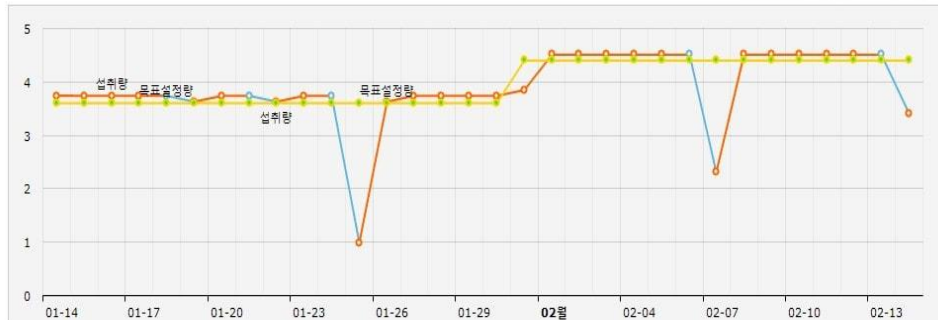
행동자료(RFID: 1 / 농장개체: 9001 / 입장횟수 : 5)

표보기



월간섭취

표보기 | 연간섭취



사료섭취기록 및 체중 측정 기록(안성 소재 농가)

DAWOON 농진특구
국립축산과학원

안성 유농목장

대시보드 | 개체관리 | 번식관리 | **사료급이현황** | 이상개체 알림 | 농장관리 | 환경설정

금일급이 (2019-02-14)

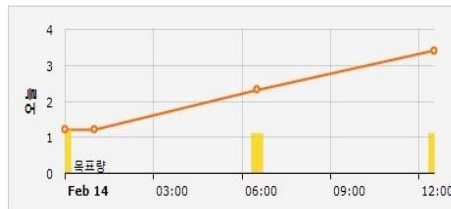
총섭취량 : 109.12/162.6(59.7%) Total : 98 재

No.	이표	농장개체
1	1284-14658	9007
2	1284-14699	9022
3	1284-14971	9017
4	1290-44230	9002
5	1290-44393	9005
6	1290-45579	9031
7	1290-45587	9024
8	1315-96633	9012
9	1315-96641	9009
10	1315-97099	9033
11	1316-10674	9032
12	1316-10746	9008
13	1316-11482	9018
14	1316-11675	9019
15	1316-11691	9034
16	1316-12008	9025
17	1316-12442	9020
18	1316-12750	9016
19	1317-08125	9030
20	1317-09683	9014
21	1317-10484	9001
22	1317-11959	9028
23	1325-99657	9023

이표	Q	농장개체	RFID	그룹	금일섭취	금일섭취(%)	전일섭취(%)	전일섭취	체중(Kg)	번식상태	구분
1325-99657	Q	9023	23	1	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	40.00		출령 : 4
1316-12750	Q	9016	16	2	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	31.00		출령 : 5
1284-14971	Q	9017	17	2	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	31.00		출령 : 5
1316-11482	Q	9018	18	2	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	31.00		출령 : 5
1316-11675	Q	9019	19	3	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	132.00		출령 : 5
1316-12442	Q	9020	20	4	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	21.00		출령 : 5
1325-99489	Q	9021	21	3	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	119.00		출령 : 5
1284-14699	Q	9022	22	4	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	21.00		출령 : 5
1290-45587	Q	9024	24	3	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	126.00		출령 : 5
1316-12008	Q	9025	25	4	3.41/4.40	77.50%	102.50%	4.51/4.40	21.00		출령 : 5

행동자료(RFID: 23 / 농장개체: 9023 / 입장횟수 : 4)

[표보기](#)



연간섭취

[그래프보기](#) [연간섭취](#)

No	개체	날짜	섭취량(Kg)	설정량(Kg)	체중(Kg)
1	23/9023	2019-02-14	3.41	4.40	40.00
2	23/9023	2019-02-13	4.51	4.40	40.00
3	23/9023	2019-02-12	4.51	4.40	40.00
4	23/9023	2019-02-11	4.51	4.40	40.00
5	23/9023	2019-02-10	4.51	4.40	40.00
6	23/9023	2019-02-09	4.51	4.40	40.00
7	23/9023	2019-02-08	4.51	4.40	40.00
8	23/9023	2019-02-07	2.31	4.40	40.00
9	23/9023	2019-02-06	4.51	4.40	40.00
10	23/9023	2019-02-05	4.51	4.40	40.00

사료섭취기록 및 체중 측정 기록(안성 소재 농가)

안성-우농목장

[대시보드](#)
[개체관리](#)
[번식관리](#)
[사료급여현황](#)
[이상개체 알림](#)
[농장관리](#)
[환경설정](#)



사료급여현황

홈 / 농장관리 / 사료급여현황

사료급여현황

총섭취량

사육중

No.	이표	농장개체
1	1284-14658	9007
2	1284-14699	9022
3	1284-14971	9017
4	1290-44230	9002
5	1290-44393	9005
6	1290-45579	9031
7	1290-45587	9024
8	1315-96633	9012
9	1315-96641	9009
10	1315-97099	9033
11	1316-10674	9032
12	1316-10746	9008
13	1316-11482	9018
14	1316-11675	9019
15	1316-11691	9034
16	1316-12008	9025
17	1316-12442	9020
18	1316-12750	9016
19	1317-08125	9030
20	1317-09683	9014
21	1317-10484	9001
22	1317-11959	9028
23	1323-35775	9006

< 2019-02-14 >

검색

전체 사료조 2 사료조 3 사료조 4 사료조 5

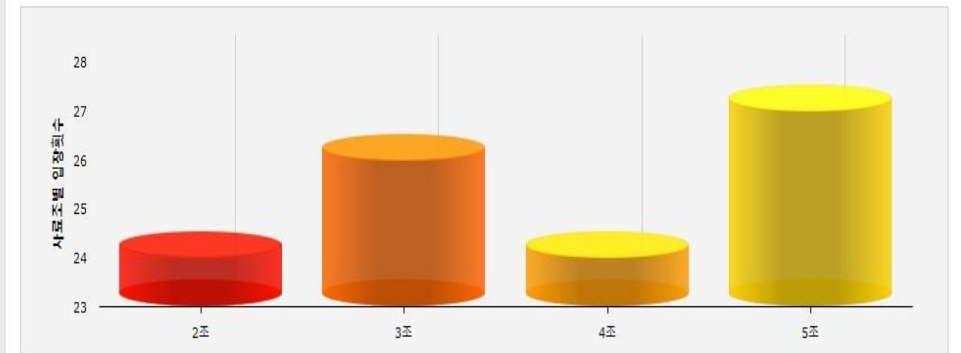
금일급여 사료조 현황

사료조 현황 (최종업데이트 : 2019-02-14 17:26:26)

Total : 101

No	사료조	이표	농장개체	RFID	그룹	날짜	입장	퇴장	사료1(g)	사료2(g)	사료3(g)
1	2	1290-44393	9005	5	3	2019-02-14	12:56	05:39	660	440	0
2	2	1315-96633	9012	12	3	2019-02-14	12:49	04:44	660	440	0
3	2	1317-08125	9030	30	3	2019-02-14	12:41	05:37	660	440	0
4	2	1325-99489	9021	21	3	2019-02-14	12:34	04:52	660	440	0
5	2	1316-11675	9019	19	3	2019-02-14	12:27	05:09	660	440	0
6	2	1290-45579	9031	31	3	2019-02-14	12:20	05:21	660	440	0
7	2	1323-35775	9006	6	3	2019-02-14	12:10	04:45	660	440	0
8	2	1290-45587	9024	24	3	2019-02-14	12:01	04:47	660	440	0
9	2	1290-45579	9031	31	3	2019-02-14	07:24	04:44	660	440	0
10	2	1290-44393	9005	5	3	2019-02-14	06:55	05:55	660	440	0
11	2	1290-45587	9024	24	3	2019-02-14	06:45	04:43	660	440	0
12	2	1315-96633	9012	12	3	2019-02-14	06:38	04:43	660	440	0
13	2	1317-08125	9030	30	3	2019-02-14	06:28	05:05	660	440	0

날짜 : 2019-02-14



2절 양돈용 사료섭취량 조사기 제작

1. 기존 제품 기술수준 분석



그림 103 양돈용 급여기 수입제품(사진: Fancom사 제품)



그림 104 모돈용 군사급여기 국내제품(사진: 주식회사 다운 제품)

가. 기존 제품 기술수준 및 한계점 분석

- (1) RFID 인식방식을 적용한 국내 제품의 경우 에어식 입장문, 고정형 사료섭취조, 단방향 퇴장문 등 외산 제품과 동일한 기능으로 제작하였음
- (2) 한 마리씩 순차적으로 섭취를 해야 하는 것이 기본구조로, 돼지의 지능지수가 높아서 예

어문의 구조를 인식하고 미리 머리를 문과 문 사이에 끼워둔 채 먼저 입장해 있는 개체의 사료를 도식하는 사례가 많았음. 문을 강제로 열 수 없는 구조임에도 불구하고 동시에 두 마리가 들어가려고 할 때 많은 문제가 발생함



그림 105 기존 군사급여기 제품의 사료급여 중 돼지의 도식 시도

- (2) 퇴장 게이트로 나올 경우 반대쪽으로 돼지의 입장이 불가능한 구조로 설계하였으나, 출구를 통해 들어오려 하거나 출구를 다른 돼지가 막고 있는 경우가 많았음. 일반적인 급여에는 문제가 발생하지는 않았지만 입장 및 퇴장 게이트, RFID인식장치 등에서의 잦은 결함이 발견됨



그림 106 기존 급여기 출구를 다른 돼지가 막고 있는 경우

- (3) 사료섭취구조의 개방으로 입장한 돼지가 급여조 안에서 나가지 않고 대기하는 문제가 발생하여 기기의 운영에 많은 문제를 제기하게 되었음. 기기 내부에서 취침을 취하는 개체가 발견되기도 하여 입장개체를 내보내는 문제가 중요함을 인식, 전체적으로 구조적 기능적 개선이 필요하게 되었음



그림 107 기존 급여기의 급여조에서 돼지가 나가지 않는 경우

나. 기존 제품의 한계점 해결 방안 제시

(1) 송아지 분유급여기의 국산화 사례



그림 108 송아지 분유급여기 수입제품

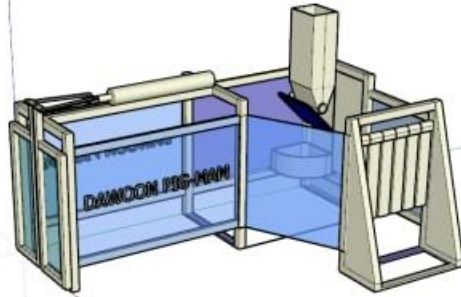
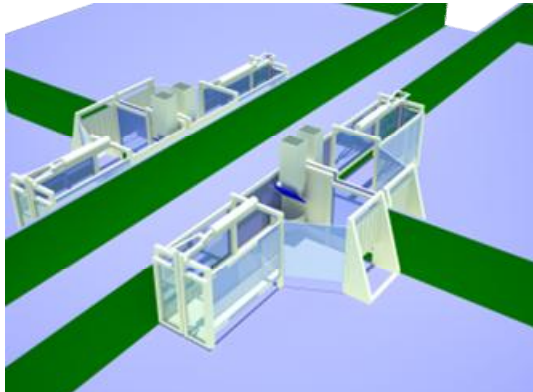
- (가) 송아지 분유급여기 외산제품의 경우 대부분 입장해 있는 개체를 보호하기 위한 시설이 없음. 송아지 뒷부분이 거의 노출되어 공격받기가 쉬운 단점이 있었음. 상대적으로 힘이 센 송아지가 분유를 빼앗아 먹기 위해 분유급여기에 입장한 송아지를 공격하여 도둑하는 문제가 발생함
- (나) 사육규모가 막대한 해외 농장의 경우 약한 가축은 도태되어도 된다는 생각으로 사육 방식을 확립하고 급여장치를 만들고, 그런 장치를 수입하여 국내 농가에서 사용할 경우 국내 농가의 여건과 부합하지 않아 문제가 빈발하였음

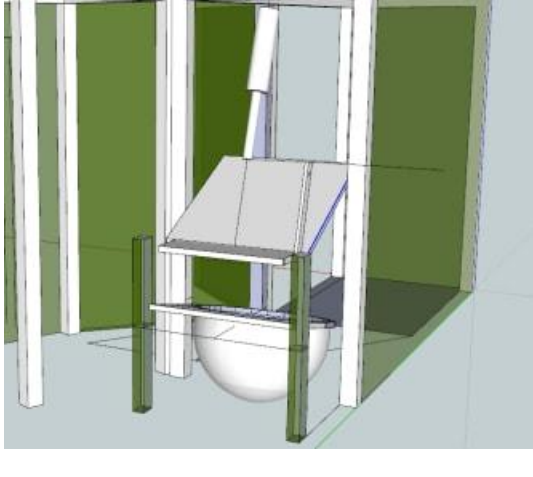


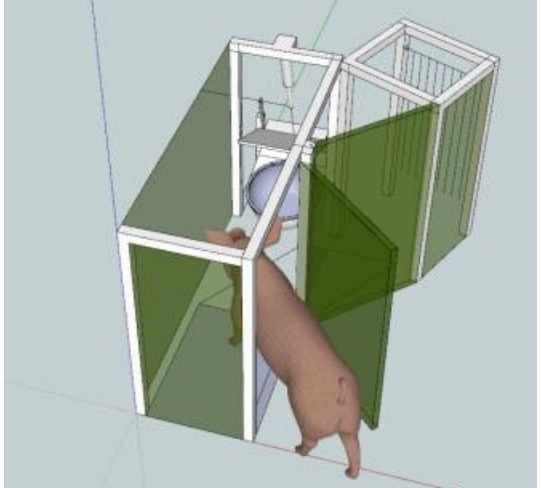
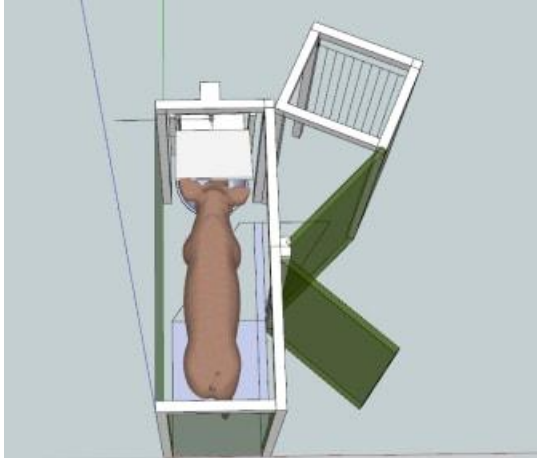
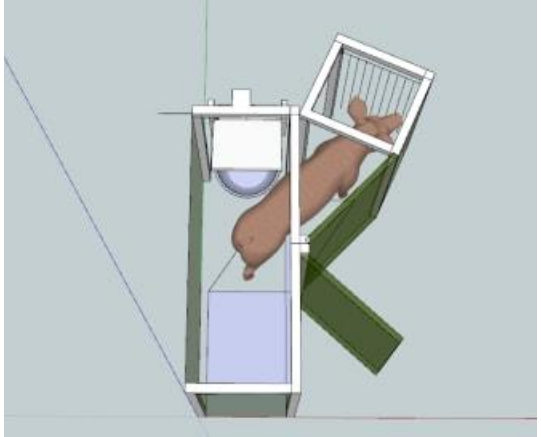
그림 109 송아지 로봇포유기 국내제품의 폐쇄 구조(사진: 주식회사 다운 제품)


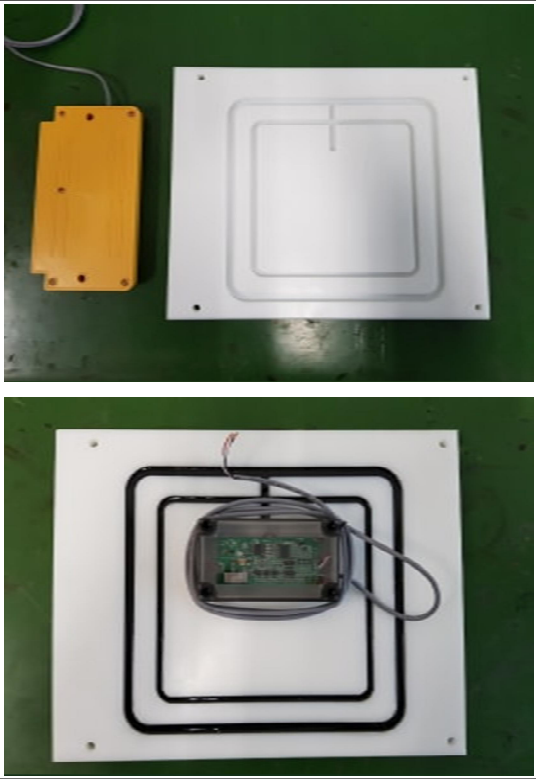
- (다) 이러한 외산제품의 단점을 극복하고 성공적으로 국내 축산환경의 여건에 맞게 국산화한 송아지용 로봇포유기 제품의 경우 입장한 송아지가 틀에 완전히 가리는 장치를 개발함. 후방에서의 공격이 사실상 불가능하여 약한 개체도 편하게 섭취가 가능함
- (라) 젓꼭지 또한 전자동으로 공급/ 후퇴가 가능하도록 하여 기기운영의 속도를 높임. 바닥에 체중계를 부착하여 성장속도를 확인할 수가 있음

(2) 송아지 로봇포유기의 사례에 착안한 양돈용 섭취량조사기 개선 방안

설계 개선 방안	설계 개선 이미지
<p>- 기존 개발된 구조에 사료섭취조의 형상을 바꾸고 리더의 위치를 사료섭취조 좌측부분에서 상단으로 바꾸는 쪽으로 설계 진행 후 다양한 가능성 점검.</p>	
<p>- 세부 배치도 작성 및 배관 배선 유용성 검토</p>	

설계 개선 방안	설계 개선 이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 기존 로봇포유기 방식으로 문을 개조함. - 입장 게이트, 퇴장게이트를 설치 운영함. - 후면에서 입장하는 방식이 아닌 측면입장 방식을 채택하여 입장한 동물이 측면으로 이동하는 느낌을 부여함. - 몸의 1/2이 입장이 되면 입장게이트가 돼지의 몸과 닿은 채 닫히는 구조로 두 마리의 개체가 동시에 들어올 수 없도록 함. - 퇴장시도 25도 정도 우측으로 몸을 틀어서 나가도록 하여 입장과 퇴장을 분리함. - 동물들이 후진을 하지 않는 경향이 많은데 그런 동물의 특징을 반영하여 설계함. 	
<ul style="list-style-type: none"> - 사료 섭취조를 이동하는 구조로 할 경우 기기의 크기가 상대적으로 커지는 문제로 설치상 어려움이 예상되는 바, 사료섭취조의 뚜껑부분을 RFID리더 안테나코일을 이용하여 평상시에는 닫아 두었다가 섭취가능 돼지가 입장했을 경우에 자동으로 사료조를 개방함으로 돼지의 섭취를 유도한다. - 섭취가 완료 되었을 경우 섭취조를 닫고 입장한 돼지를 내보낸다. 	
<ul style="list-style-type: none"> - 입장한 개체의 정보를 인식하기위한 RFID전자태그 정보 인식용 인식장치를 사료 섭취조 위쪽에 부착하였다. - 기존의 좌측 귀쪽에 부착하였을 경우 돼지가 사료섭취조에 머리를 박고 고개를 들지 않을경우나 자세가 불량할 경우 개체정보의 인식률이 떨어지는 문제가 발생하곤 하였는데 사료의 섭취를 한후 다음사료를 기다리기 위해서 고개를 들어 올리는 특성을 이용하기 위하여 머리 위쪽에 인식장치를 부착하였다. - 인식율의 대폭 상승되었다. 	

설계 개선 방안	설계 개선 이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 돼지 입장방법의 변화 - 후면 입장 방식이 아닌 측면 입장방식 	
<ul style="list-style-type: none"> - 사료섭취중 - 머리위의 인식장치를 통한 개체확인 - 섭취 게이트의 열림과 동시에 섭취가능 - 섭취 종료후 게이트 닫힘. 	
<ul style="list-style-type: none"> - 게이트 닫힘과 동시에 우측으로 빠져나감. - 출구는 단방향으로 설정된 수동식 게이트가 설치 운영되므로 퇴장은 가능 - 출구를 통한 재입장은 불가함 	

설계 개선 방안	설계 개선 이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 저주파 인식장치 - 송수신 안테나 반경 (23*12.5) - 인식영역 25(가로)*15(세로)*25(거리) 	
<ul style="list-style-type: none"> - 개량형 저주파 인식장치(안테나확장) - 송수신 안테나 반경을 넓힘(40*40) - 인식영역 40(가로)*45(세로)*35(거리) 	

2. 양돈용 사료섭취량 조사기 개발

가. 양돈용 사료섭취량 조사기 설계

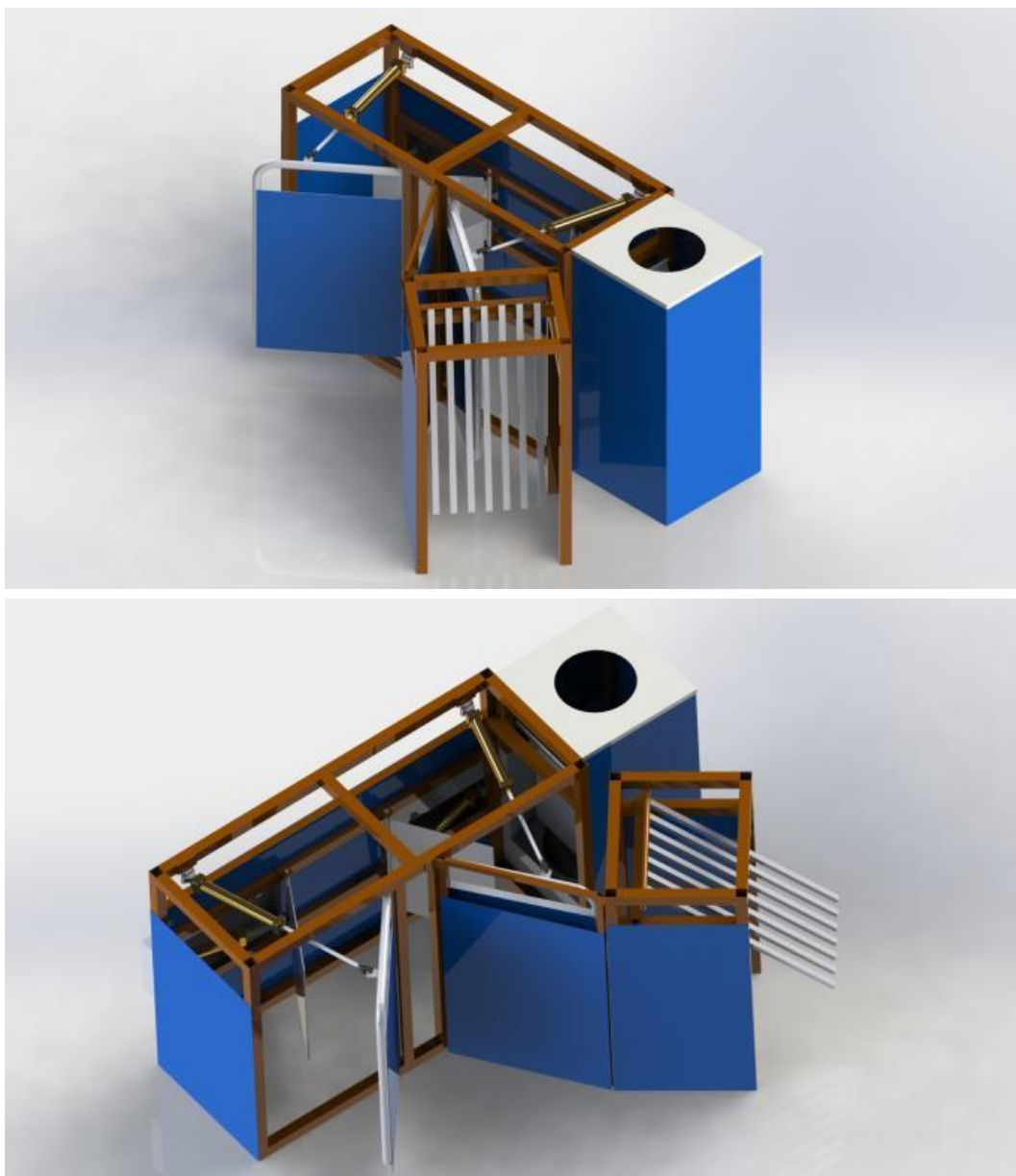


그림 120 양돈용 사료섭취량 조사기 3D 정밀설계

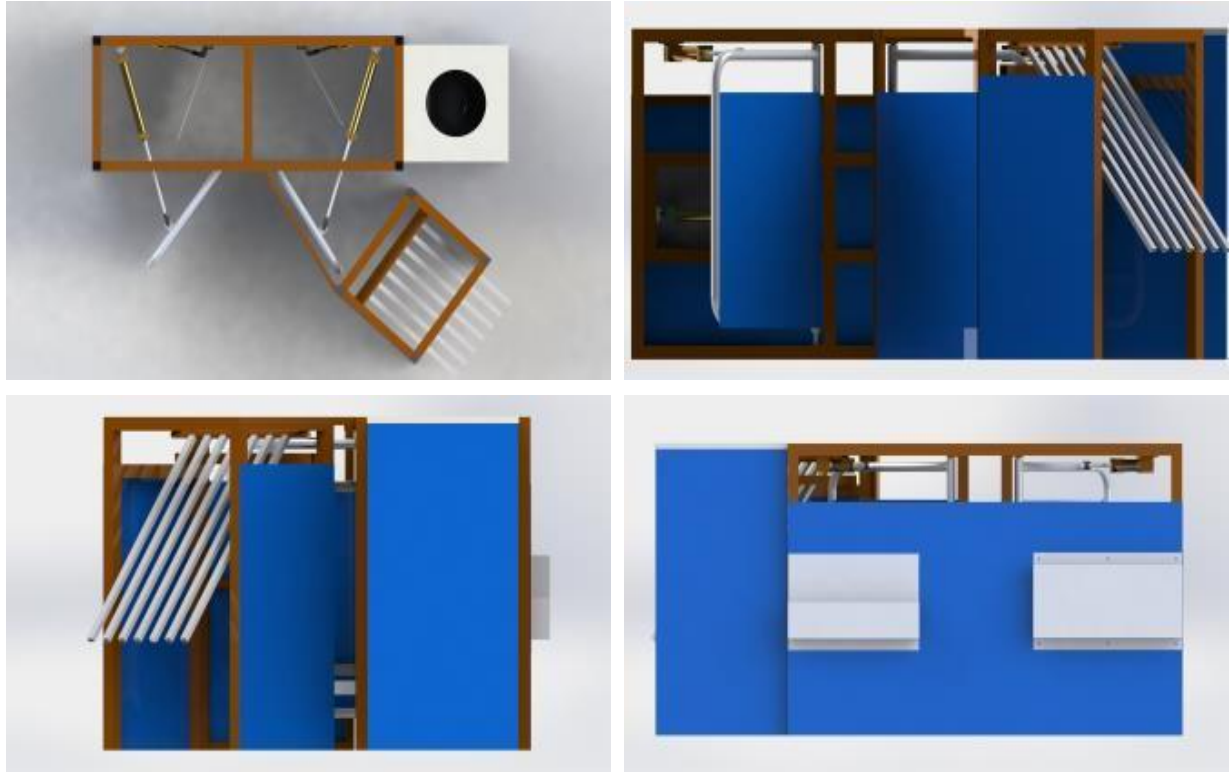


그림 121 양돈용 사료섭취량 조사기 3D 정밀설계 도면(상면도, 측면도)

나. 양돈용 사료섭취량 조사기 시작품 제작



그림 122 양돈용 사료섭취량 조사기 시작품 제작



그림 123 양돈용 사료섭취량 조사기 시작품 완성 상태

다. 양돈용 사료섭취량 조사기 제어기 제작



그림 124 섭취량 조사시스템 주제어장치

- (1) 485통신 프로토콜 사용 다수 장치연동
- (2) 독립형 고성능 인디케이트 보유

- (3) 야간 및 실내 식별이 용이한 LCD
- (4) 야간 및 실내 식별이 용한 FND
- (5) 다양한 입/출력장치 구축



그림 125 I/O제어 PCB



그림 126 전자저울 인디케이터 MAIN PCB



그림 127 조립상태



그림 128 전자저울 인디케이터 display Board



그림 129 System MAIN BOARD



그림 130 상측 PCB배치도



그림 131 전면부 가공 및 PCB배치

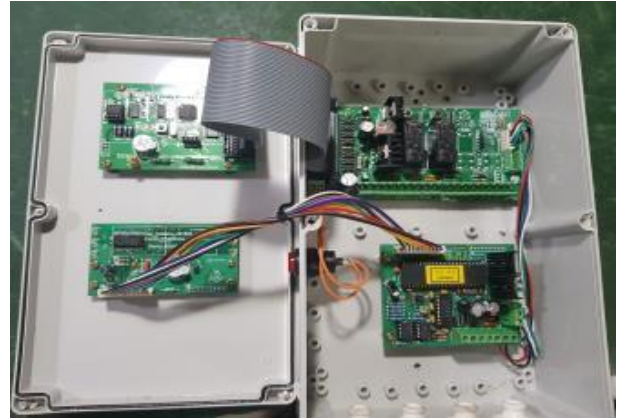


그림 132 조립상태

라. 양돈용 사료섭취량 조사기 시작품 현장설치 운영



그림 133 모든 입장후 사료섭취 중



그림 134 경쟁돈과 입장돈의 완벽한 격리가능



그림 135 시스템 측면 구성



그림 136 출구 퇴장문 구성 및 배치상태



그림 137 전체 시스템 배치도

(1) 설치 운영 결과

- (가) 기존 후면 입장 방식에서 측면 입장방식으로 개선 후 입장 돼지의 외부자극이 적어서 편안한 섭취가 가능해짐
- (나) 돼지가 들어오기 좋도록 입장게이트와 입장 유도 게이트가 병행으로 운영되므로 입장 하는 개체가 신속하게 섭취조로 이동 가능
- (다) 돼지의 입장에 맞추어 신속하게 입장게이트가 닫히므로 추가로 들어오려는 돼지의 문제 발생빈도가 줄어들음
- (라) 사료 섭취조의 경우 게이트를 이용한 섭취조로 구성하여 입장한 개체가 섭취 잔량이 있을 경우 게이트가 열리고 사료를 섭취할 수 있도록 하는 구조
- (마) 섭취가 완료된 개체에 대해서는 섭취조 게이트가 폐쇄되고 돼지를 출구로 밀어내기 위한 밀판이 동작함으로써 입장한 돼지의 신속한 퇴장을 돕는 구조로 설계
- (바) 뒤따르는 돼지가 입장해 있는 돼지를 공격하는 방법은 후미에 있는 돼지가 앞선 돼지의 양 다리사이로 들어가 돼지를 들어 올려버리는 행위를 하게 되는데, 측면 입장 시 입장하는 돼지가 우측으로 일정 각도를 가지고 몸을 비틀면서 진행하므로 후방에 있는 돼지의 공격에 방해가 적게 발생되고, 내부 공간을 모돈의 최대 사이즈에 최적화함으로써 내부 공간이 협소하여 두 마리 이상의 개체가 입장하여 경합하는 문제를 방지함
- (사) 출구 게이트는 단방향으로 진행이 가능한 방식을 고수함. 출구방향의 단방향 게이트에 개체 인식용 적외선 센서를 부착함으로써 퇴장이 완료되었는지를 판단하는 기준으로 사용
- (아) 퇴장이 완료됨이 확인되었으면, 입장게이트를 열고 다음 돼지를 기다린다.

사료 섭취 기록(바른양돈 사업소)

표 37 양돈용 사료 섭취량 조사기 자료예씨(개체번호 08-140호의 기록)

일자	급이설정량(Kg)	섭취량(Kg)	섭취비율	일자	급이설정량(Kg)	섭취량(Kg)	섭취비율
2017-07-08	2.8	1.4	50%	2017-08-18	2.8	0.1	4%
2017-07-09	2.8	2.8	100%	2017-08-19	2.8	1.7	61%
2017-07-10	2.8	2.3	82%	2017-08-20	2.8	2.8	100%
2017-07-11	2.8	2.8	100%	2017-08-21	2.3	2.3	100%
2017-07-12	2.8	2.8	100%	2017-08-22	2.3	2.3	100%
2017-07-13	2.8	2.8	100%	2017-08-23	2.3	2.3	100%
2017-07-14	2.8	2.8	100%	2017-08-24	2.3	2.3	100%
2017-07-15	2.8	2.8	100%	2017-08-25	2.3	2.3	100%
2017-07-16	2.8	2.8	100%	2017-08-26	2.3	2.3	100%
2017-07-17	2.8	1.2	43%	2017-08-27	2.3	2.3	100%
2017-07-18	2.8	2.8	100%	2017-08-28	2.3	2.3	100%
2017-07-19	2.8	2.8	100%	2017-08-29	2.3	2.3	100%
2017-07-20	2.8	2.8	100%	2017-08-30	2.3	2.3	100%
2017-07-21	2.8	2.8	100%	2017-08-31	2.3	2.3	100%
2017-07-22	2.8	2.4	86%	2017-09-01	2.3	2.3	100%
2017-07-23	2.8	2.8	100%	2017-09-02	2.3	2.3	100%
2017-07-24	2.8	2.8	100%	2017-09-03	2.3	2.3	100%
2017-07-25	2.8	2.8	100%	2017-09-04	2.3	2.3	100%
2017-07-26	2.8	2.8	100%	2017-09-05	2.3	2.3	100%
2017-07-27	2.8	2.8	100%	2017-09-06	2.3	2.3	100%
2017-07-28	2.8	2.8	100%	2017-09-07	2.3	2.3	100%
2017-07-29	2.8	2.8	100%	2017-09-08	2.3	2.3	100%
2017-07-30	2.8	1.8	64%	2017-09-09	2.3	2.3	100%
2017-07-31	2.8	2.8	100%	2017-09-10	3.1	3.1	100%
2017-08-01	2.8	2.8	100%	2017-09-11	3.1	3.1	100%
2017-08-02	2.8	2.8	100%	2017-09-12	3.1	3.1	100%
2017-08-03	2.8	2.8	100%	2017-09-13	3.1	3.1	100%
2017-08-04	2.8	2.8	100%	2017-09-14	3.1	3.1	100%
2017-08-05	2.8	2.8	100%	2017-09-15	3.1	3.1	100%
2017-08-06	2.8	2.8	100%	2017-09-16	3.1	3.1	100%
2017-08-07	2.8	2.8	100%	2017-09-17	3.1	3.1	100%
2017-08-08	2.8	2.8	100%	2017-09-18	3.1	3.1	100%
2017-08-09	2.8	2.8	100%	2017-09-19	3.1	3.1	100%
2017-08-10	2.8	2.8	100%	2017-09-20	3.1	3.1	100%
2017-08-11	2.8	2.8	100%	2017-09-21	3.1	3.1	100%
2017-08-12	2.8	2.8	100%	2017-09-22	3.1	3.1	100%
2017-08-13	2.8	2.8	100%	2017-09-23	3.1	3.1	100%
2017-08-14	2.8	2.8	100%	2017-09-24	3.1	3.1	100%
2017-08-15	2.8	2.8	100%	2017-09-25	3.1	3.1	100%
2017-08-16	2.8	1.8	64%	2017-09-26	3.1	3.1	100%

사료 섭취 기록(바른양돈 사업소)

표 38 양돈용 사료 섭취량 조사기 자료 예시(개체번호 14-51호의 기록)

일자	급이설정량(Kg)	섭취량(Kg)	섭취비율	일자	급이설정량(Kg)	섭취량(Kg)	섭취비율
2017-07-14	2.8	2.8	100%	2017-08-24	2.3	2.3	100%
2017-07-15	2.8	2.8	100%	2017-08-25	2.3	2.3	100%
2017-07-16	2.8	2.8	100%	2017-08-26	2.3	2.3	100%
2017-07-17	2.8	2.8	100%	2017-08-27	2.3	1.8	78%
2017-07-18	2.8	2.8	100%	2017-08-28	2.3	1.9	83%
2017-07-19	2.8	2.8	100%	2017-08-29	2.3	2.3	100%
2017-07-20	2.8	2.8	100%	2017-08-30	2.3	2.3	100%
2017-07-21	2.8	2.8	100%	2017-08-31	2.3	2.3	100%
2017-07-22	2.8	2.8	100%	2017-09-01	2.3	2.3	100%
2017-07-23	2.8	2.8	100%	2017-09-02	2.3	2.3	100%
2017-07-24	2.8	2.8	100%	2017-09-03	2.3	2.3	100%
2017-07-25	2.8	2.8	100%	2017-09-04	2.3	2.3	100%
2017-07-26	2.8	2.8	100%	2017-09-05	2.3	2.3	100%
2017-07-27	2.8	2.8	100%	2017-09-06	2.3	2.3	100%
2017-07-28	2.8	1.4	50%	2017-09-07	2.3	2.3	100%
2017-07-29	2.8	1.3	46%	2017-09-08	2.3	2.3	100%
2017-07-30	2.8	2.8	100%	2017-09-09	2.3	2.3	100%
2017-07-31	2.8	2.2	79%	2017-09-10	3.1	3.1	100%
2017-08-01	2.8	2.8	100%	2017-09-11	3.1	3.1	100%
2017-08-02	2.8	2.8	100%	2017-09-12	3.1	3.1	100%
2017-08-03	2.8	2.8	100%	2017-09-13	3.1	3.1	100%
2017-08-04	2.8	2.8	100%	2017-09-14	3.1	3.1	100%
2017-08-05	2.8	2.8	100%	2017-09-15	3.1	3.1	100%
2017-08-06	2.8	2.8	100%	2017-09-16	3.1	3.1	100%
2017-08-07	2.8	2.8	100%	2017-09-17	3.1	3.1	100%
2017-08-08	2.8	2.8	100%	2017-09-18	3.1	3.1	100%
2017-08-09	2.8	2.8	100%	2017-09-19	3.1	3.1	100%
2017-08-10	2.8	2.8	100%	2017-09-20	3.1	3.1	100%
2017-08-11	2.8	2.8	100%	2017-09-21	3.1	3.1	100%
2017-08-12	2.8	2.8	100%	2017-09-22	3.1	3.1	100%
2017-08-13	2.8	2.8	100%	2017-08-22	2.3	2.3	100%
2017-08-14	2.8	2.8	100%	2017-08-23	2.3	2.3	100%
2017-08-15	2.8	2.8	100%	2017-09-23	3.1	3.1	100%
2017-08-16	2.8	2.2	79%	2017-09-24	3.1	3.1	100%
2017-08-17	2.8	1.2	43%	2017-09-25	3.1	3.1	100%
2017-08-18	2.8	0.9	32%	2017-09-26	3.1	3.1	100%
2017-08-19	2.8	1.8	64%	2017-09-27	3.1	3.1	100%
2017-08-20	2.8	2.8	100%	2017-09-28	3.1	3.1	100%
2017-08-21	2.3	2.3	100%	2017-09-29	3.1	3.1	100%

사료 섭취 기록(바른양돈 사업소)

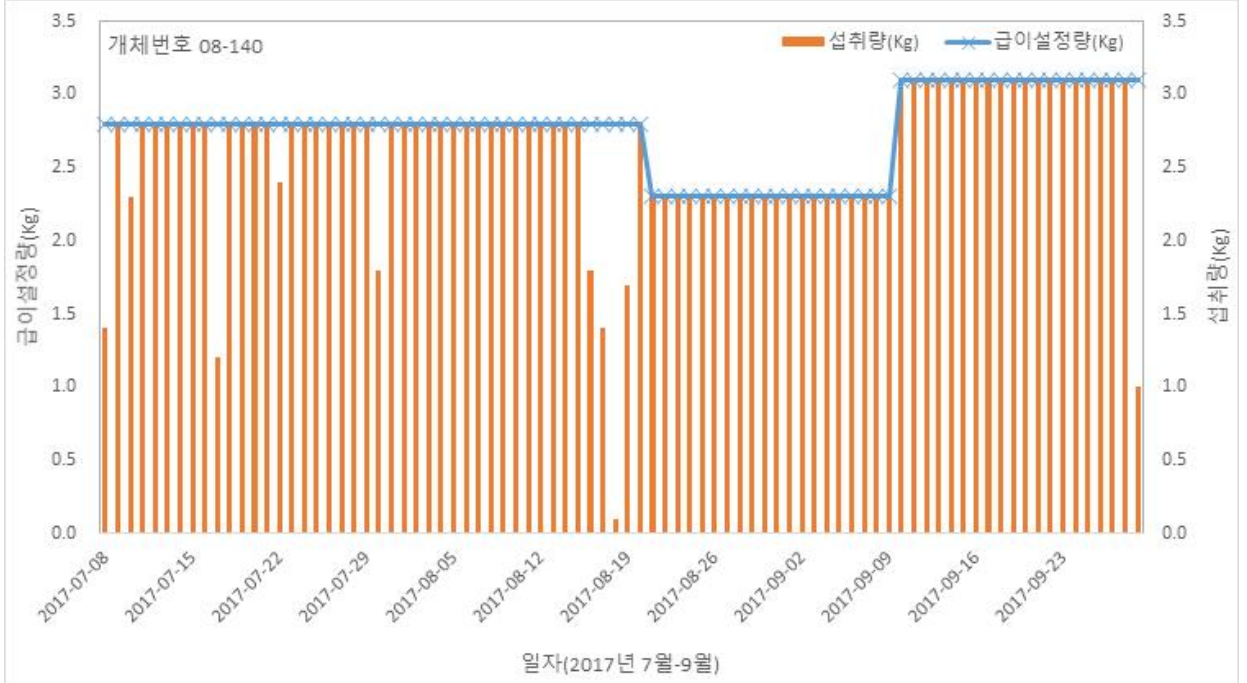


그림 138 사료 섭취량 그래프(개체번호 08-140호)



그림 139 사료 섭취량 그래프(개체번호 14-51호)

3절 한우용 자동사료 급이기 제작

1. 한우용 자동사료 급이기 구성

- 가. 개체인식이 가능한 RFID 설비를 이용하여 한우 개체를 인식하고, 특정 개체가 사료급이기에 입장할 시 알맞게 설정된 사료량을 자동 급이하는 장치
- 나. 개체인식장치, 사료 급이장치, 게이트프레임, 제어기기로 구성됨
 - (1) 개체인식장치: RFID 기반 무선통신 LoRa 기술을 적용하여 한우가 개체인식장치에 접근할 경우 개체에 목걸이 형식으로 부착된 RFID 신호발신기와 자동사료 급이기의 RFID 신호 수신기가 상호작용하여 한우 개체를 인식함
 - (2) 사료 급이장치: 사료빈, 사료이송라인, 사료급이조로 구성되며 사료빈에 연결된 사료이송라인을 따라 사료가 이동하여 사료급이조에 정량 급이
 - (3) 게이트 프레임: 자동사료 급이기의 외부 프레임으로 한우의 충격에도 진동 없이 버틸 수 있도록 강한 내구성을 지닌 스틸로 제작됨
 - (4) 제어기: 사용자가 한우 자동사료 급이기를 사용하기 위하여 개체별 급이량, 급이방법 등을 설정할 수 있도록 하는 입력출력장치

2 한우용 자동사료 급이기 업그레이드 설계

가. 개체인식장치 업그레이드 설계

(1) 무선통신기술 업그레이드

- (가) 기존 무선통신에 적용된 ZigBee 방식은 전송거리가 약 100 m 이내로 근거리이며 가 구 밀집지역에선 거리가 더욱 짧아져 네트워크 시스템에선 통신률이 낮은 편이었음. 이에 ZigBee 방식의 단점을 보완하고 IOT환경을 충족시키는 LPWA 기반 통신으로 업그레이드 진행
- (나) LoRa는 대규모 저전력 무선 기술이며, 소량의 데이터를 전송하고 장거리 통신이 가능함. ZigBee와 비교했을 때 상대적으로 통신거리가 우수하며 배터리 소모가 적은 LoRa 기술을 적용하기로 결정함

구분	<기준> Zigbee	<변경> LoRa
주파수 대역	비 면허대역 - 2.4Ghz, 868/915 Mhz	비 면허대역 -430, 868, 915/920 Mhz
최대 전송속도	250 Kbps	5.4 Kbps
통신모듈 가격	약 10 \$	약 10 \$
집중기 장비 가격	~ 약 2,000 \$	~ 약 2,000 \$
전송거리	10 ~ 100 m	500 m ~ 10 km
소비 전력	대기(0.014 uA) TX(30 mA)	대기(0.6 uA) TX(20 mA)
Network 구조	Star/Mesh Network	Star Network

자료 제공: SK Telecom



그림 140 LoRa 모듈 제작

(2) RFID 신호 발생기 업그레이드

- (가) 기존 RFID 신호거리 발생의 한계를 극복하기 위하여 UHF 신호발생이 가능한 4채널 RFID 태그로 업그레이드 진행하여 태그인식범위를 확장하였음
- (나) 생산자동화 제어 또는 컨베이어 응용에 쓰이는 제품으로 태그가 분포하는 반경이 넓은 환경, 태그 여러 개가 함께 쓰이는 환경에 적용하기 유리함



그림 141 업그레이드된 RFID UHF 장치(좌) 및 대동물용 목걸이(우)

표 40 RFID 태그 상세사양

구분	상세 사양
모델명	IDRO900F
Frequency	860MHz ~ 960MHz (Adjustable)
Host Communication	Ethernet: 10/100Mbps, RS232C: 115.2 Kbps
Physical Dimension	Length: 136.0mm (5.35inches) Width: 126.0mm (4.96inches) Height: 35.0mm (1.38inches) Weight: < 630g (24 oz)
Environment	Storage Temperature: -20°C to 70°C Operating Temperature: -20°C to 50°C
RF Output Power	Adjustable 5-30 dBm with 1 dB steps, Power Accuracy ±0.5 dBm
Supply Voltage	+12.0 VDC

(3) RFID 신호 안테나 업그레이드

- (가) 인식 범위 향상을 위하여 안테나 내부에 RFID가 탑재된 일체형 UHF Integrated RFID Reader로 업그레이드 진행함



그림 142 업그레이드된 RFID UHF 안테나 리더

표 41 RFID 리더 상세 사양

구분	상세 사양
모델명	IDRO900EAS
Frequency	860MHz ~ 960MHz
Host Communication	RS232C : 9600bps(default), 115200bps RJ45 : 10/100 BaseT Ethernet(RJ45) w/POE support GPIO 1 output(default) or 1 input(optional) RS232C: 9.6 Kbps
Physical Dimension	Length : 261.0mm (10.27inches) Width : 261.0mm (10.27inches) Height : 42.0mm (1.67 inches) Weight : <852g(30oz)
Environment	Storage Temperature: -20°C to 80°C Operating Temperature: -20°C to 50°C
RF Output Power	Adjustable 14-30 dBm with 1 dB steps Power Accuracy: ±0.5 dBm
Supply Voltage	12.0 VDC or POE(IEEE 802.3af)

다. 첨가제 공급기 업그레이드 설계

(1) 첨가제 공급기의 목적

- (가) 가축을 사육하는 농가에서는 가축의 건강한 성장을 유도하기 위해 사료 또는 영양제 등을 섭취시킴
- (나) 가축에게 영양제를 제공하는 경우, 가축이 영양제를 기피하여 섭취하도록 유도하는 것이 어려운 문제가 있음. 따라서 가축이 영양제를 효율적으로 섭취하도록 하기 위해 영양제를 분말 형태로 사료에 혼입하여, 영양제가 함유된 사료를 가축이 섭취하게 함
- (다) 이 때 사료에 혼입되는 분말 형태의 영양제는 사료의 양에 대비하여 정해진 양으로 공급하여 정해진 양의 영양제를 섭취가 가능함

(2) 첨가제 공급기 구조 및 설계

- (가) 구동기어: 구동모터의 회전동력을 전달받아 구동, 저장용기 내로 분말을 공급함
- (나) 구동모터: 분말이송부 하단에 위치하여 이송날개를 회전시키는 모터
- (다) 분말이송부: 이송날개를 회전시켜 분말을 이동, 분말이 이송날개에 밀려 분말분배장치로 공급
- (라) 분말분배장치: 분말이송부에서 일체로 연장되어 정량분배기로 분말을 정해진 양으로 분배
- (마) 정량분배기어: 기어의 회전수에 따라 분말 배출량이 결정되므로 분말이 정해진 양만큼 외부로 토출

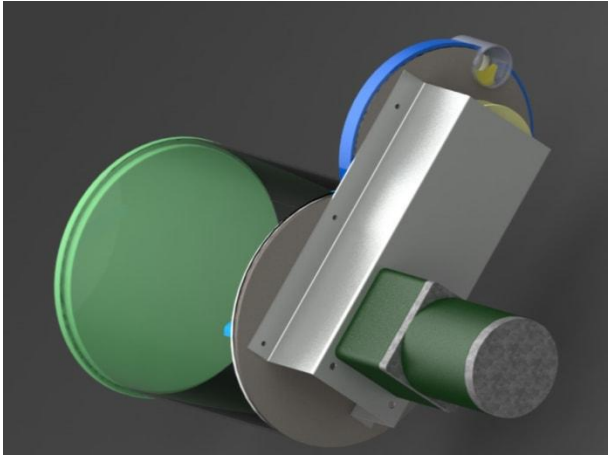
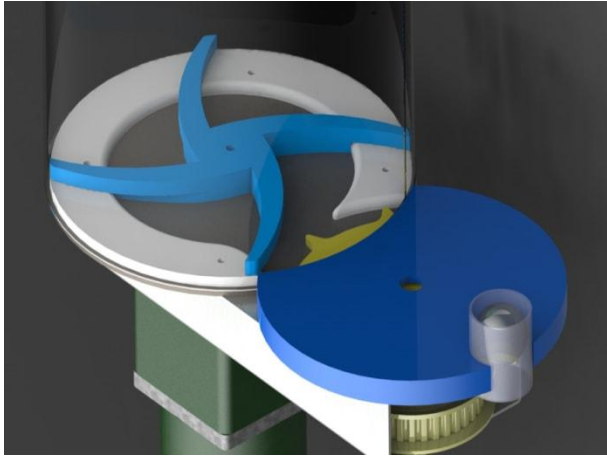
첨가제 공급기 구조 및 설계	
	<p>- 분말저장용기 및 이송날개, 구동기어 및 모터 등으로 구성되어 있음</p>
	<p>- 하단에 구동모터 및 기어를 설치하여 공급동력 전달</p>

그림 143 첨가제 공급기 전체 설계도

그림 144 첨가제 공급기 설계도(하부)

첨가제 공급기 구조 및 설계



- 저장용기 하단의 분말이송부의 이송날개
- 회전하며 정량만큼의 첨가제를 이송시킴

그림 145 첨가제 공급기용 이송날개 설계도

라. 자동사료 급이기 업그레이드 설계

(1) 자동사료 급이기 전체 설계도

(가) 자동사료 급이기 전체 형태



그림 146 한우용 자동사료 급이기 전체 설계도

(나) 자동사료 급이기 구성요소 결합 형태

자동 사료급이기 설계 과정

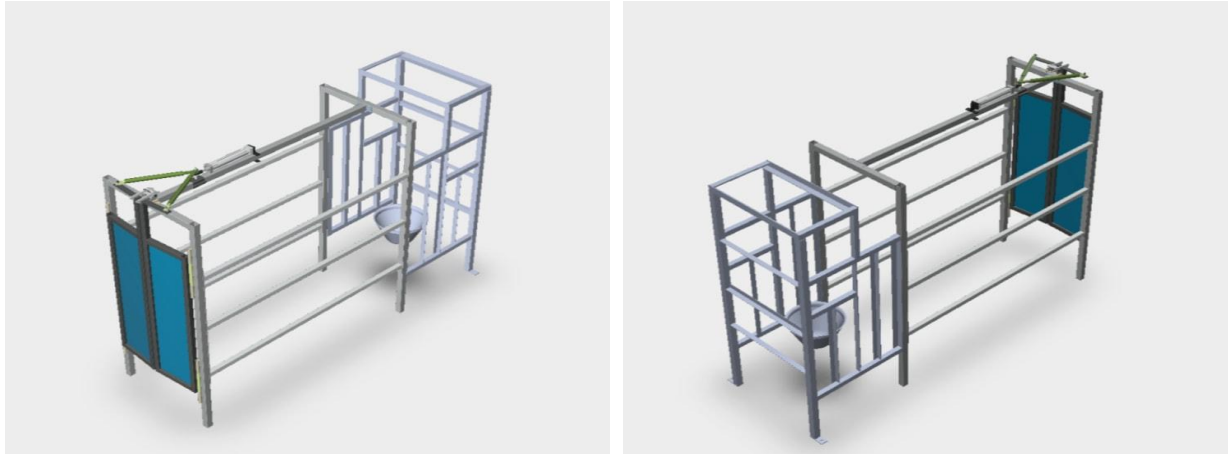


그림 147 급이조 및 게이트 프레임 결합상태(등각도)

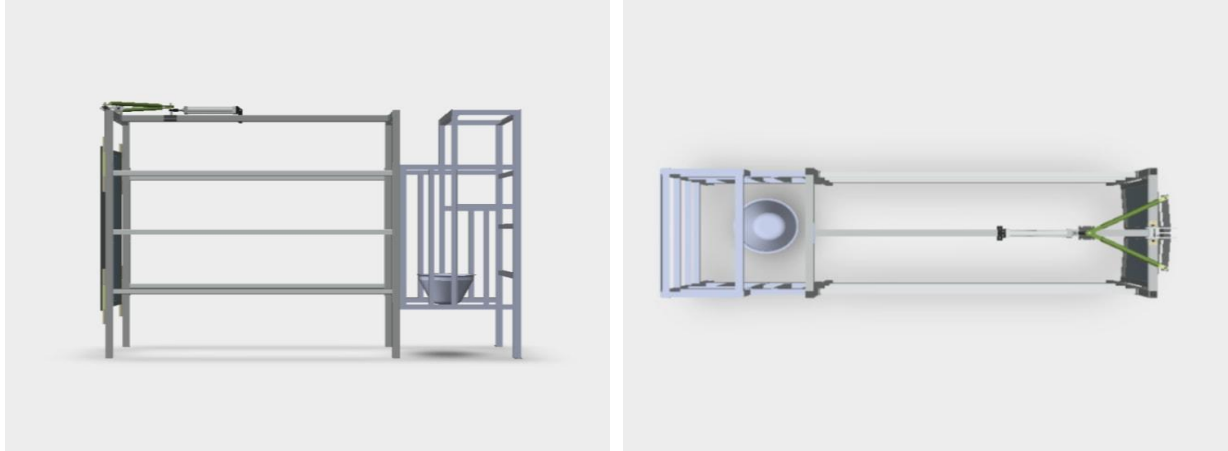


그림 148 급이조 및 게이트 프레임 결합상태(측면도, 상면도)

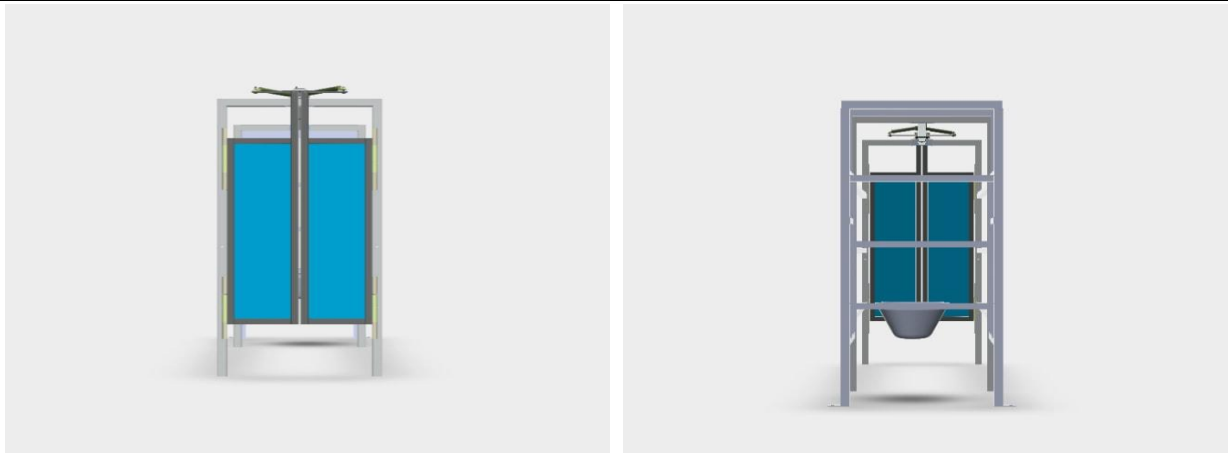


그림 149 급이조 및 게이트 프레임 결합상태(정면도, 후면도)

(다) 자동사료 급이기 구성요소 설계도



그림 150 사료조 밥그릇 설계도



그림 151 전면부 프레임과 사료조 밥그릇의 위치 모식도

자동사료 급이기 구성요소 설계

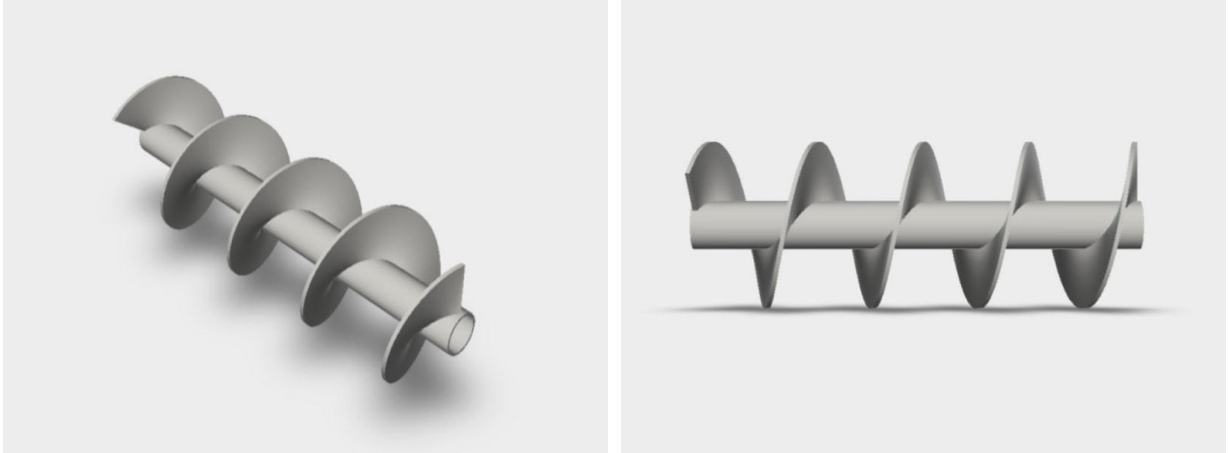


그림 152 이송 스크루



그림 153 사료 호퍼용 깔때기

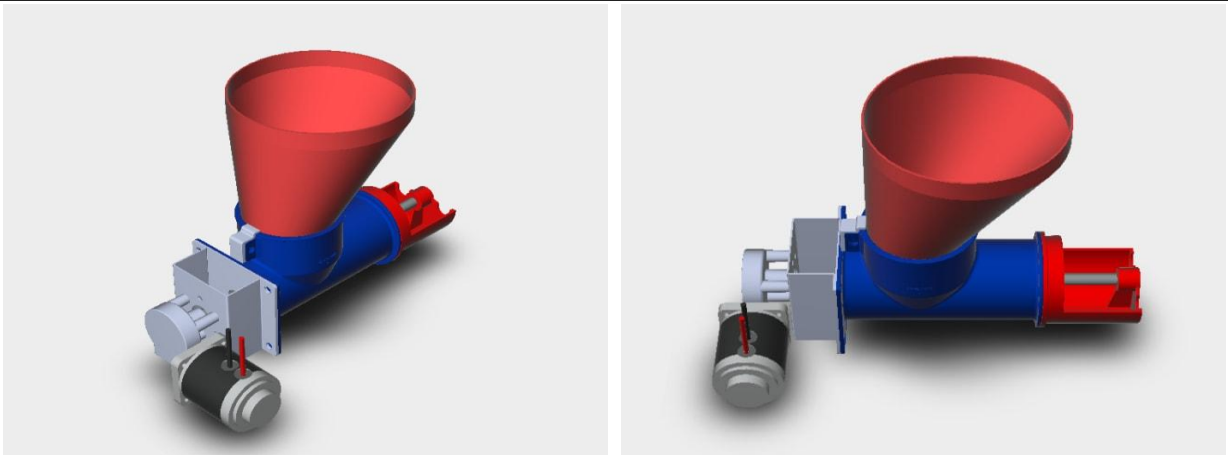


그림 154 사료 호퍼 전체 조립도

(2) 자동사료 급이기 게이트 프레임

- (가) 가축의 사료섭취량을 통제하기 위해 사료를 자동으로 급여하는 자동급여기는 일반적으로 게이트 프레임 내에 설치되어, 가축이 게이트 프레임 내에서 자동급여기를 통해 사료를 섭취하도록 함

- (나) 게이트프레임은 게이트프레임 내로 입장한 가축이 다른 가축의 간섭 없이 급여된 사료를 섭취할 수 있도록 돕는 역할임
- (다) 본 연구에서는 외산 ICT 제품의 국산화 도입 및 국내 한우농가에 적용성을 제고하기 위하여 국내 실정에 맞는 한우 농가, 한우 축종에 특화된 게이트 프레임 잠금장치를 추가 개발하여 기술의 적합성 및 우수성을 높였음

자동사료 급이기 게이트 프레임 3D 설계

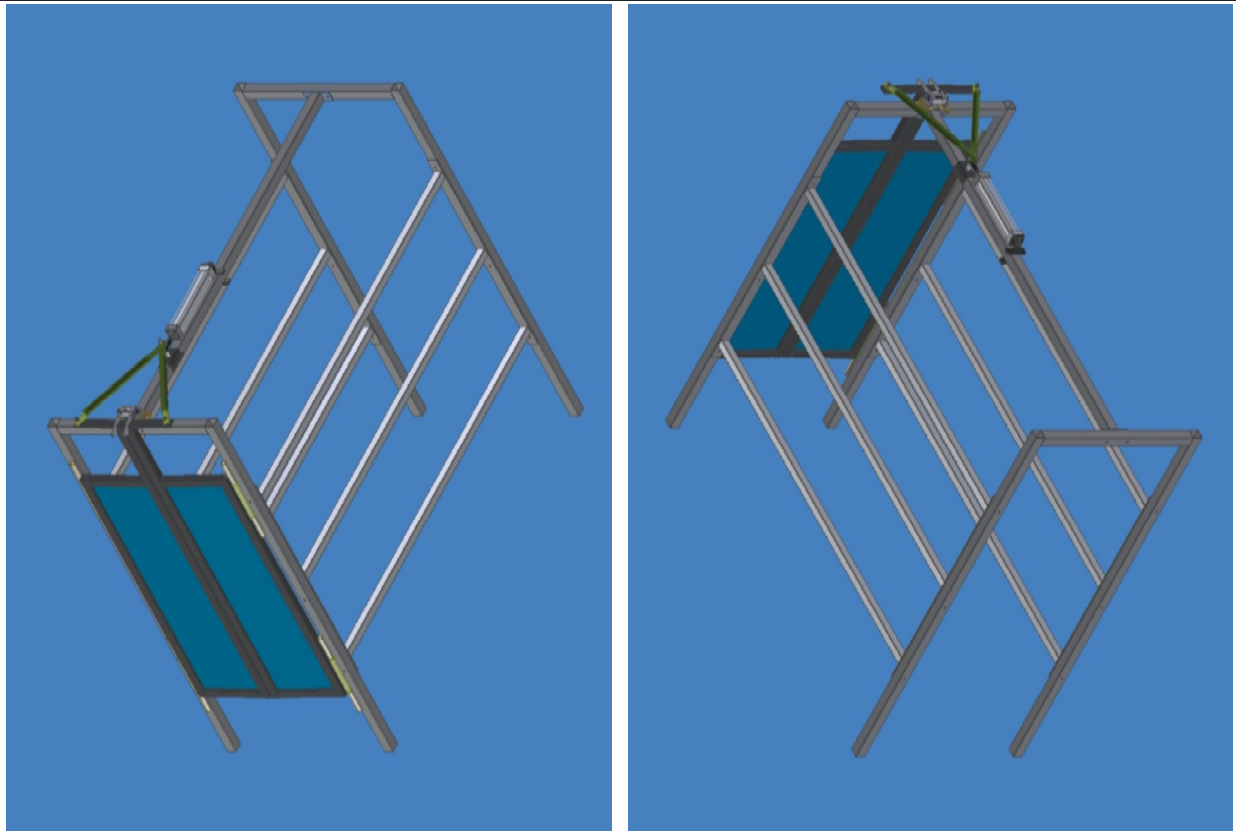


그림 155 게이트 프레임 설계도

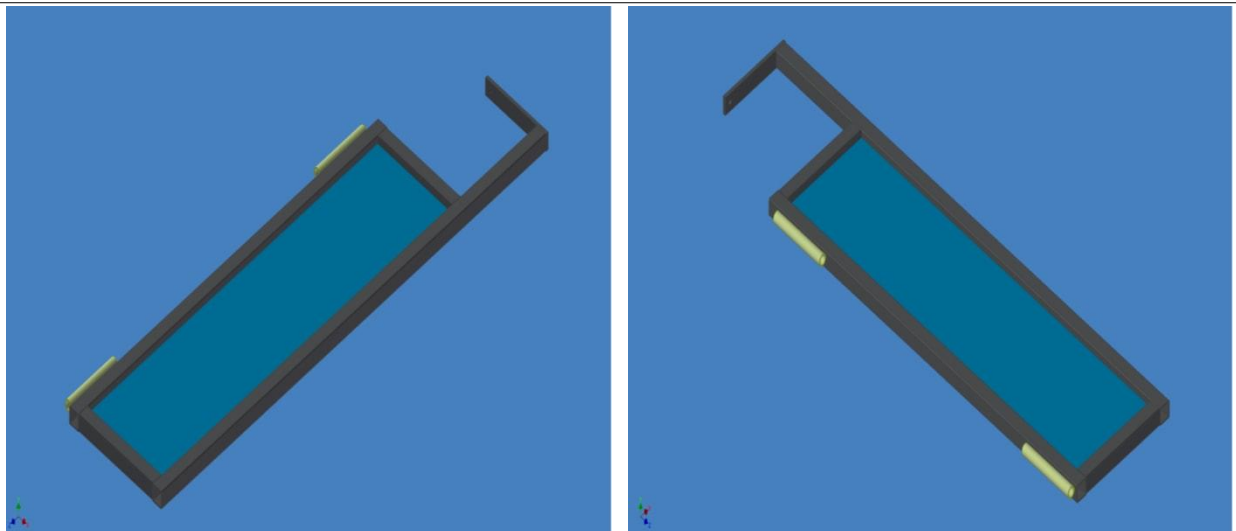


그림 156 게이트 프레임 도어

자동사료 급이기 게이트 프레임 3D 설계

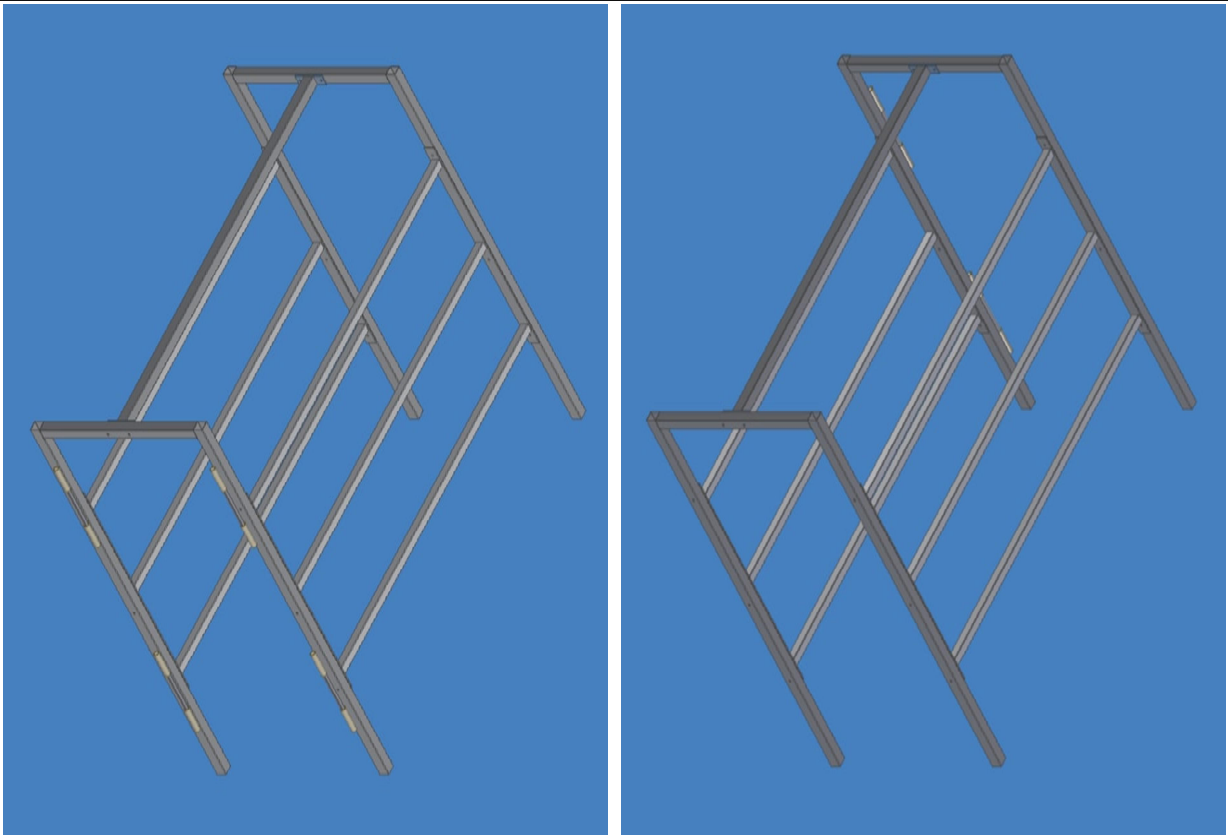


그림 157 게이트 프레임

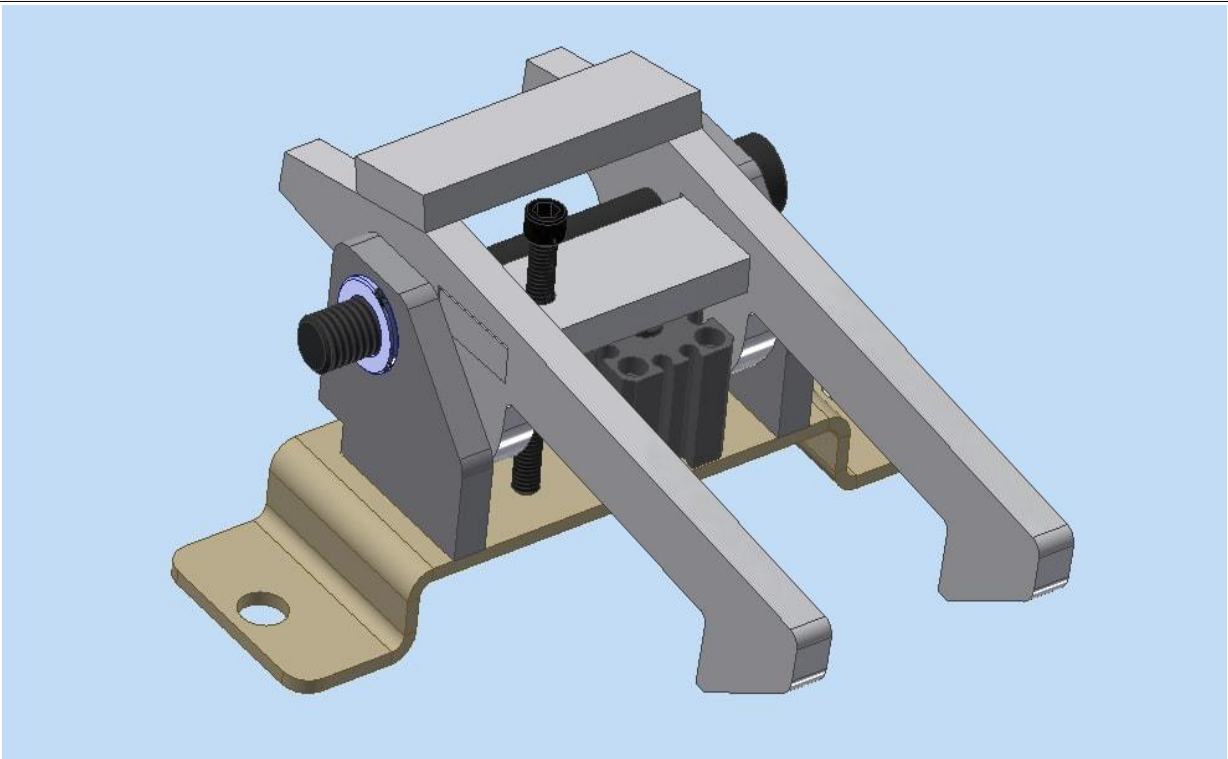


그림 158 한우용 게이트 프레임 잠금장치 설계도

자동사료 급이기 게이트 프레임 3D 설계

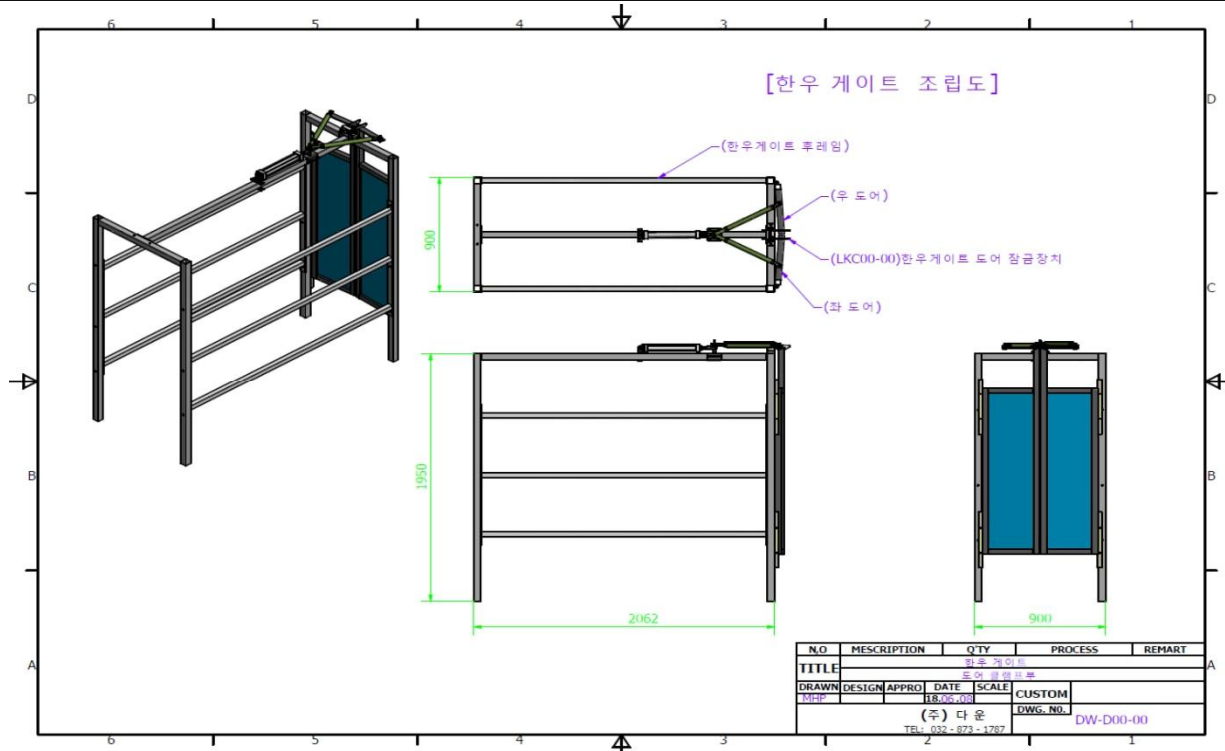


그림 159 게이트 프레임 조립도

4. 한우용 자동사료 급이기 현장설치 및 운영

1. 경기도 이천 소재의 설치 농가



그림 160 한우용 자동사료 급이기 현장 설치 환경

4절 ICT 환경 제어 시스템

1. ICT 환경 제어 시스템 개요

- 가. 축사의 환경을 관리하기 위한 기술로 온도, 습도, 이산화탄소, 암모니아농도 등의 센서 정보를 수집, 축사의 환경을 모니터링하는 시스템
- 나. 수집된 환경정보를 사용자에게 제공 및 축사 환경관리를 원격으로 제어 가능하도록 하여 맞춤형 사양관리가 가능한 스마트팜 기반 기술
- 다. 축사의 위치나 여건에 있어 기존 Zigbee 통신기술이 원활하지 않은 경우가 빈발하여 고성능 무선통신기술인 LoRa 네트워크 기술을 적용하여 통신 장애문제를 대폭 개선하였음
- 라. 웹사이트, 모바일 어플리케이션을 이용한 축사의 환기팬 원격제어기술을 제공하여 사용자로 하여금 수집된 환경정보를 모니터링 및 그에 맞는 대처가 신속히 가능하도록 함

2. ICT 환경 제어 시스템 설계

가. PCB 보드 및 회로 설계

- (1) 32비트급 MCU를 채용 RTOS를 기본으로 장착한 회로설계함. 이더넷(인터넷) 통신이 가능해야 하므로 관련소프트웨어를 탑재한 RTOS를 이용하여 제품을 설계하였음
- (2) 유무선 복합연동이 가능하도록 통신모듈을 연결하는 포트를 2개로 설계함으로 원격제어는 통신속도가 빠른 447MHz모듈을 사용할 수 있도록 설계하였고, 환경정보의 통신은 통신거리가 상대적으로 광대역인 LORA 모듈을 장착할 수 있도록 설계하였음
- (3) 축산 현장이 열악하여 쥐나 기타 동물에 의한 선로 파괴 및 배선 단락, 합선에 대한 많은 문제점이 있는바 무선통신기술 LORA기반으로 설계하여 배선문제를 없앨 수 있도록 설계하였음. 필요에 따라서 통신모듈을 교환하여 무선통신, RS485통신, CAN통신까지 사용범위를 극대화 가능하도록 설계하였음
- (4) 메인 보드는 고속CPU를 사용하고 있고, 다양한 외부회로를 갖출 수 있게 하여 현장에서 발생하는 데이터의 처리속도에 장애가 없도록 설계하였음
- (5) 외부에서 쉽게 기기의 동작상태를 알 수 있도록 2*16 LCD를 채용하였음
- (6) 5V 아답터 전원과 인터넷선을 연결하여 배선을 마칠 수 있도록 설계함
- (7) ICT 표준 프로토콜중 하나인 MQTT프로토콜 기반으로 설계하여 외부나 모바일에서 기기의 동작상태를 쉽게 모니터링 할 수 있으며, 타 기종과의 연계의 확장성이 용이하도록 설계하였음

PCB 보드 및 회로 설계

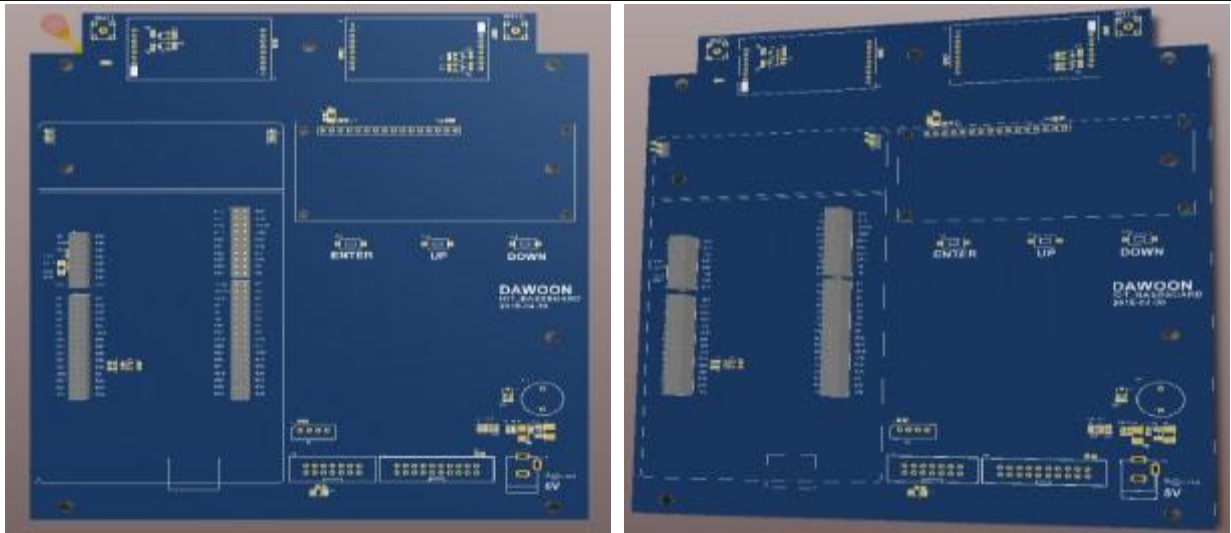


그림 161 IOT BASE 보드

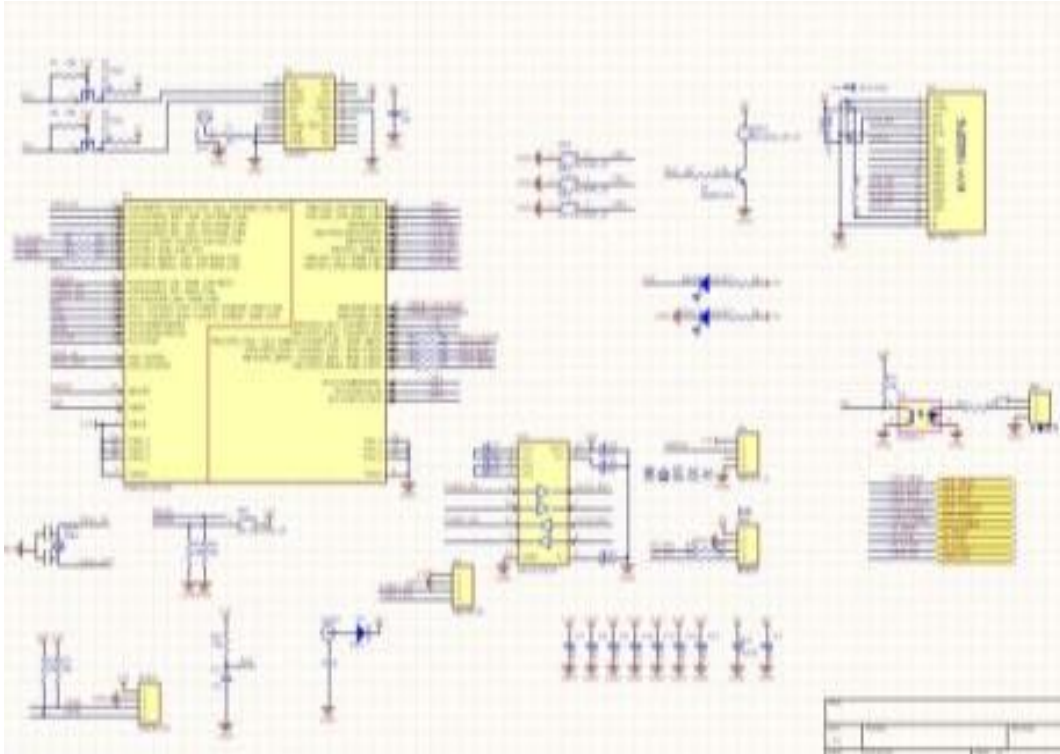


그림 162 IOT BASE 회로도

PCB 보드 및 회로 설계

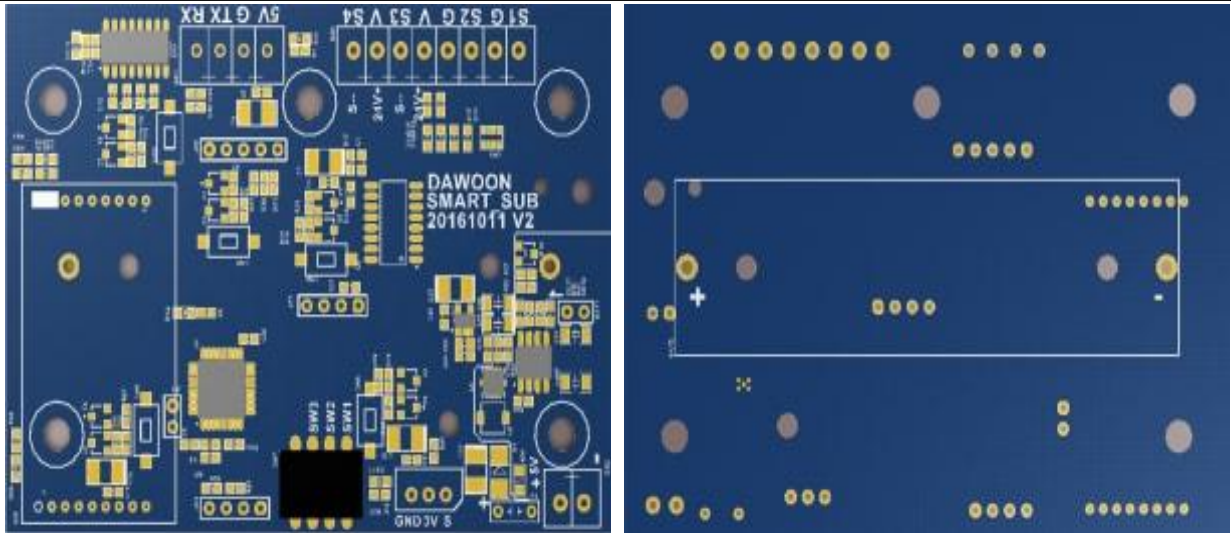


그림 163 IOT SUB 보드

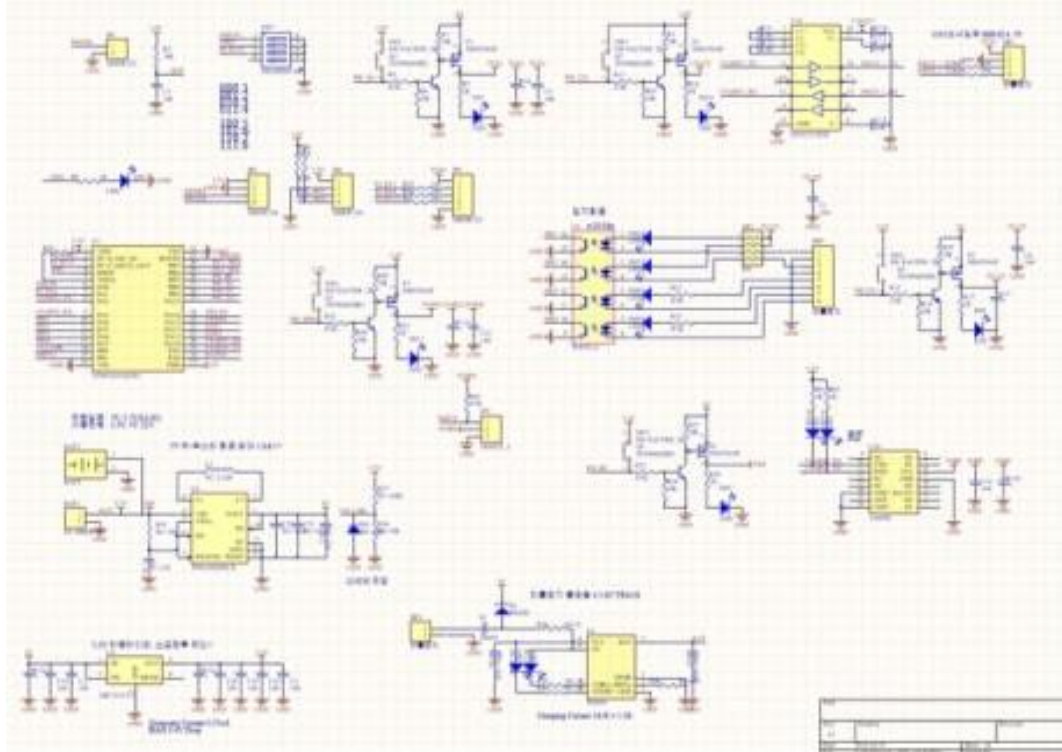


그림 164 IOT SUB 회로도

PCB 보드 및 회로 설계

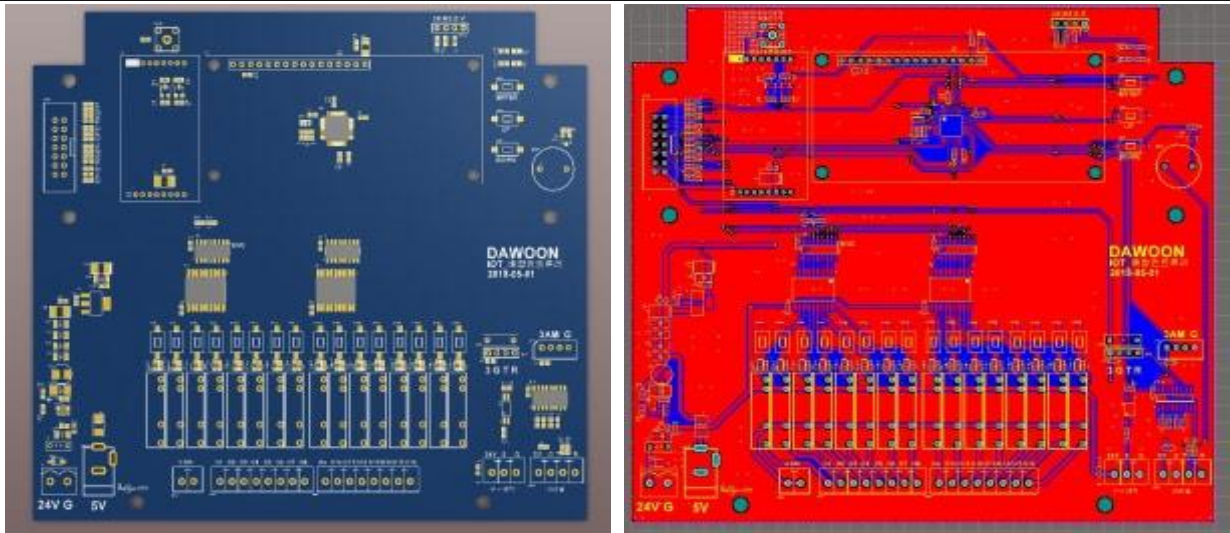


그림 165 IOT CONTROL 보드

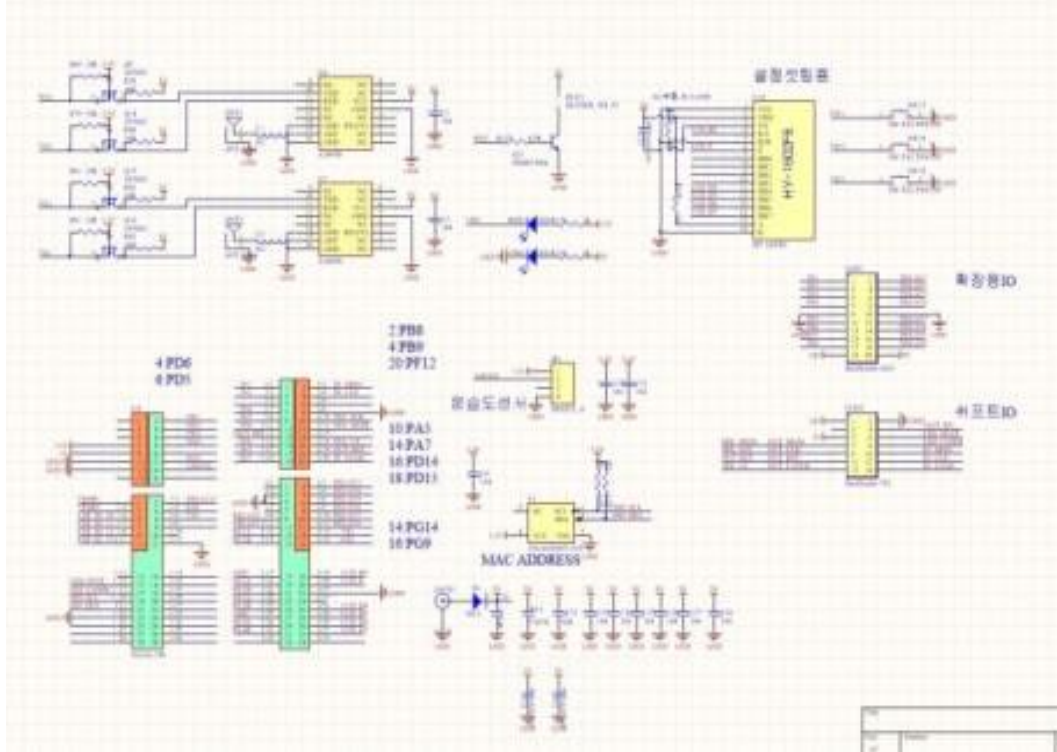


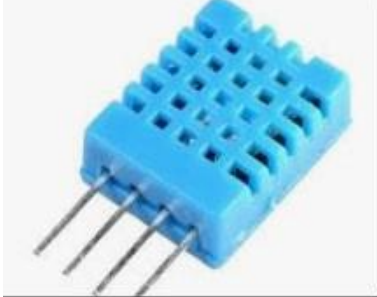

그림 166 IOT CONTROL 회로도

3. 대가축용 환경센서

가. 센서 종류

- (1) 다양한 센서중 온도/습도를 디지털로 제공하는 DHT11센서사용
- (2) 국내산 CO2센서를 사용함.
- (3) 암모니아 센서(수입 센서를 사용함)

센서 종류	센서관련자료	
	 <p>그림 167 서미스터 온도센서</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 온도에 따른 저항값의 변화를 추적하여 온도를 확인함. - 저렴한 단가 외부 환경에 강함 - 측정 오차가 심함
온도센서	 <p>그림 168 LM35 반도체형 온도센서</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 측정 정밀도 높음 - 가격이 상대적으로 저렴함.
	 <p>그림 169 DHT11 온도습도 전용 반도체 센서</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 측정 정밀도 높음 - 온습도 동시측정 - 디지털 출력됨.

센서 종류	센서관련자료	
습도센서	 <p data-bbox="507 555 863 589">그림 170 습도 전용 측정센서</p>	 <p data-bbox="911 555 1248 589">그림 171 온/습도 측정센서</p>
CO2센서	 <p data-bbox="687 913 1082 947">그림 172 이산화탄소량 측정센서</p>	

나. 센서인터페이스

(1) 각각의 센서에서 출력되는 정보를 수신 및 수집된 데이터를 게이트웨이를 통해 통합데이터 베이스로 전송하기위한 장치로 다양한 센서정보를 수신 및 정보처리를 수행하는 회로구성 및 무선 및 유선 전송회로를 제작하여 인터페이스로 활용한다.

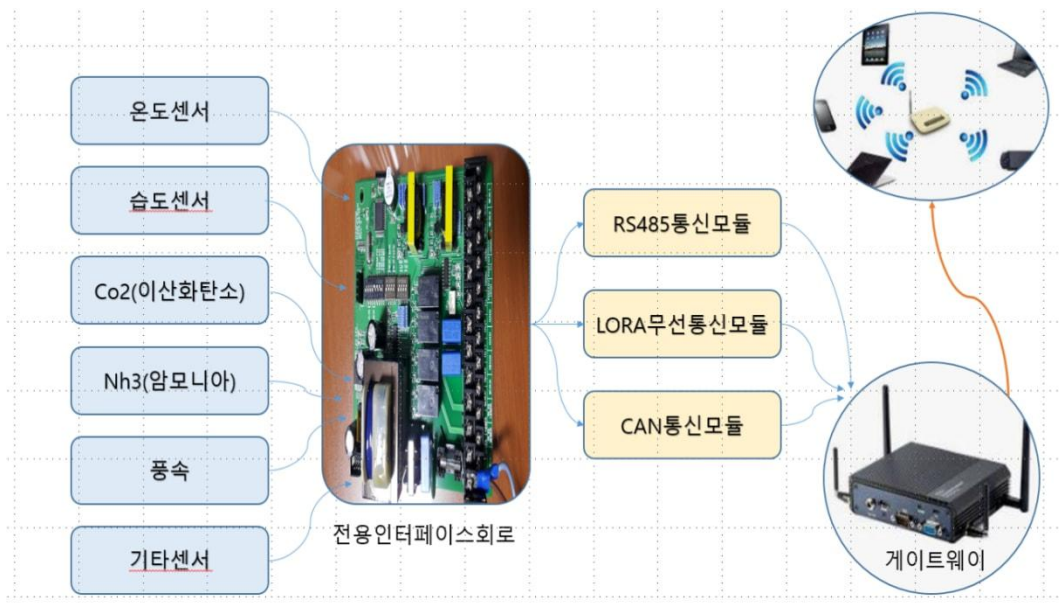


그림 173 센서 인터페이스 구조

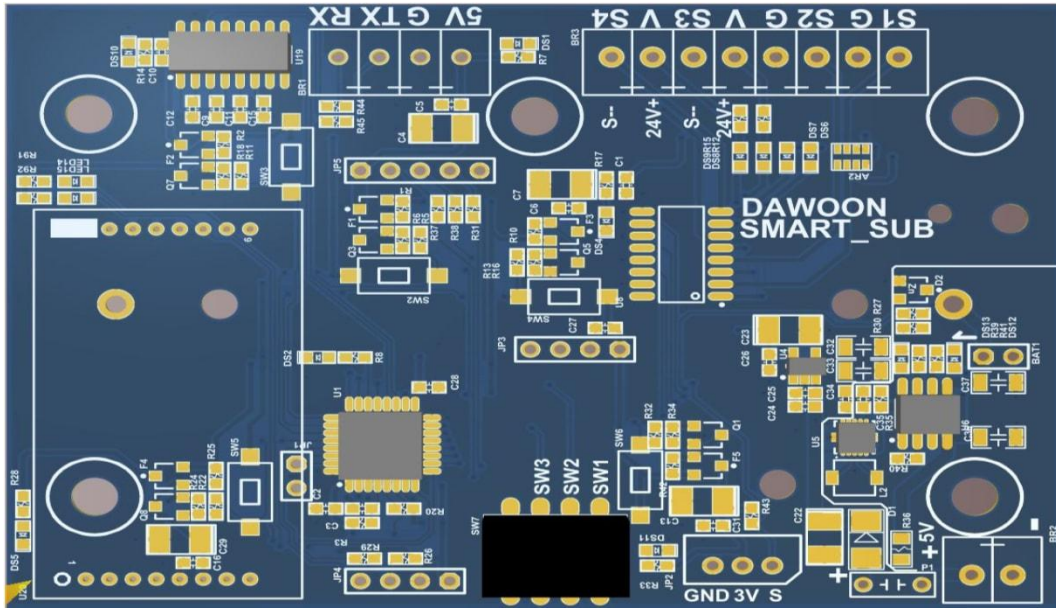


그림 174 센서인터페이스 PCB 제작

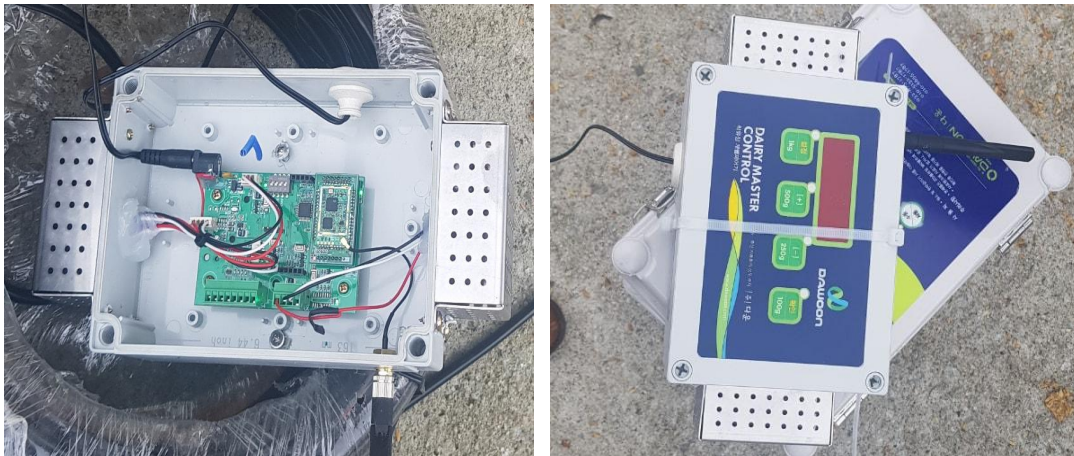


그림 175 제품제작 및 현장설치

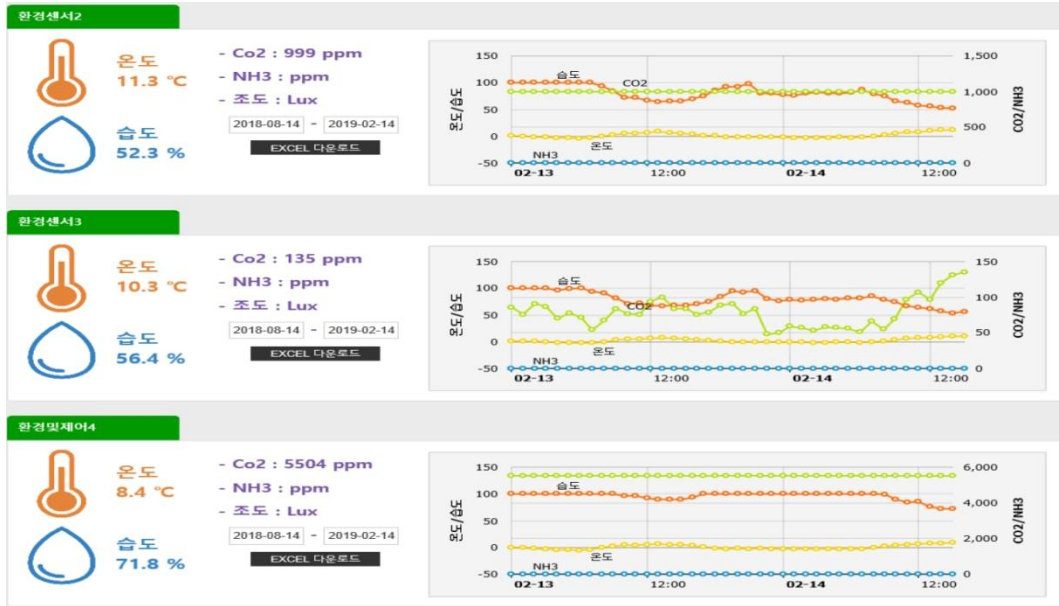


그림 176 현장설치 운영 중 자료 표시 웹



그림 177 현장설치 운영 중 자료 표시 어플

3. ICT 사료빈관리기 개발

가. 개요

- (1) 사료탱크의 사료잔량을 실시간 확인할수 있도록 하여 군집동물의 사료섭취량을 확인하고, 사료잔량을 농장주 및 사료회사와 연동할수있게 함으로 사료관리의 효율성을 높이는 용도로 사용되는 제품임.
- (2) 양계/오리의 경우 사료섭취량의 확인이 중요한데, 대규모로 군사하는 경우가 많음으로 사료섭취량을 확인하는데 어려움이 있음.

- (3) 사료탱크의 사료잔량을 확인하고 사육두수로 환산할 경우 일일 사료섭취량을 확인할수 있음.
- (4) 사료섭취량과 일당증체량(체중계)를 환산할 경우 사료섭취효율을 확인할수 있음.
- (5) 농장에 설치된 사료탱크에 로드셀을 장착하고 장착된 로드셀에서 오는 변위 신호를 인디케이터에서 확인한뒤 무선통신 모듈을 통해 관제서버로 전송함
- (6) 전송받은 데이터를 관제서버에서 웹서버에 올리고 올려진 데이터 기반 모바일앱에서 관리가 가능하도록 하였음.
- (7) 오프라인으로 운영되던 사료빈 관리기에 무선통신 모듈을 부착하여 온라인 관리가 가능하도록 하였음.
- (8) 최대 32개의 사료빈 자료를 관리 할수 있음.

나. 회로 구성

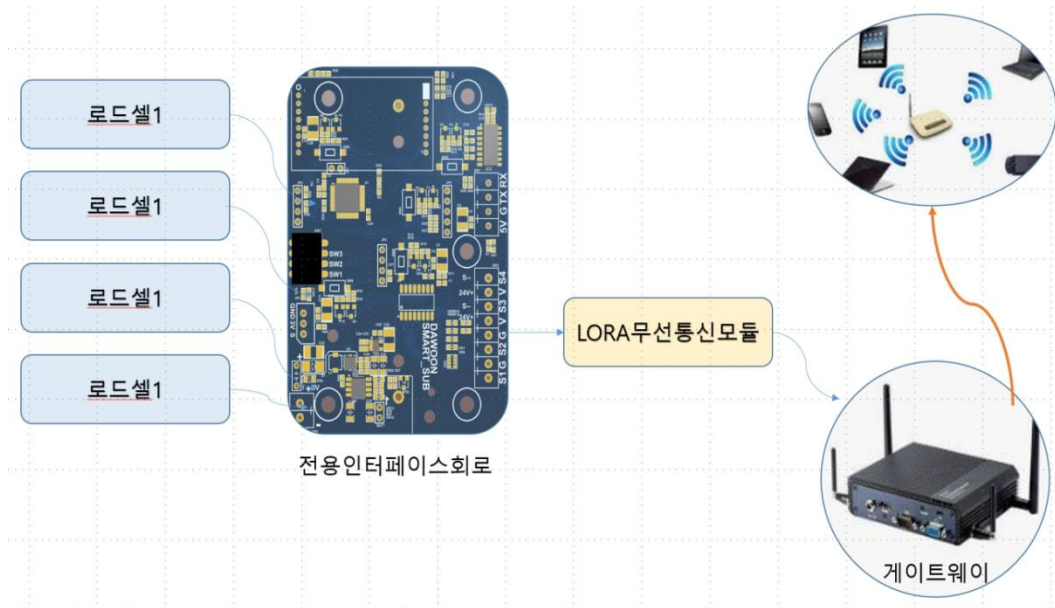


그림 178 인터페이스 회로 구성

- (1) 로드셀 4개와 전용인터페이스 회로, 무선모듈로 구성됨
- (2) 현장 설치요건을 고려한 무선통신모듈을 활용함.
- (3) 솔라충전과 결합하면 배선을 없앨수 있음.

다. 설치 및 운영



그림 179 사료탱크 다리에 로드셀을 설치

- (1) 사료탱크 다리에 로드셀을 설치함.
- (2) 설치된 로드셀을 믹서가 내장된 인디케이터 회로에 연결함.



그림 180 로드셀 배선연결



그림 181 내부 인디케이터 및 LORA모듈 설치



그림 182 수입산 제품출력 상태 (비교)



그림 183 현장 설치 운영중

라. 고찰

- (1) 사료량 정밀도 우수하고 사용편리성 우수하나 설치비용 및 유지보수 비용이 과다함.
- (2) 최소 사료빈 1기당 350만원이상의 비용이 소요됨
- (3) 보급에 상당한 문제점을 안고있음.
- (4) 저렴한 가격에 ICT기능을 구현할 필요성 있음.(한우/젖소분야)

4. 보급형 ICT 사료빈 관리기 개발

가. 개요

- (1) 일반적인 사료빈 관리기는 사료량의 정확한 확인보다는 사료를 떨어트림으로 해서 발생하는 사육동물의 스트레스를 해결하고자 하는 의도로 많이 사용된다.
- (2) 양계/오리사의 경우 개체별 사료섭취량을 알고자 하는경우가 많아서 정밀형 사료빈관리기의 필요성이 대두되고 있지만, 타 축종의 경우 개체별 보다는 사료조 잔량을 정확하게 알고 사료를 주문하는 시점을 알고자 해당 시스템을 설치하려고 하는 요구가 많다.
- (3) 사료가 부족하면 사전에 알림을 받고자 하는경우가 있는데, 예전에는 사료잔량 센서를 설치하여 해당위치에 사료가 떨어져가면 부저를 울리거나 전등을 켜줌으로 사용자에게 알림을 하는 경우가 있었지만, 대부분 농장에 대기하고 있지 않은 관계로 유명 무실해졌다.
- (4) 사료의 잔량을 대략적으로 확인하고 지정된 레벨이 되면 문자나 메일로 실시간 알림을 해주는 것을 선호하게 되었다.
- (5) 로드셀을 사용할 경우 공사가 크고 비용이 많이 발생하여 농가에 4-10여개를 가지고 있는 농장의 경우 설치비용이 과하게 발생하는 문제가 있어 보급이 늦어지고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 다양한 노력을 수행한바 레이저센서를 이용한 사료빈관리기를 개발 보급을 위한 준비를 수행함.
- (6) 레이저 센서를 이용하여 사료통 내부의 사료의 높이를 실시간 측정하고 해당 잔량을 웹 서버에 기록하게 함으로 지정된 값 이하로 사료잔량이 확인되면 PUSH메일 및 알람을 통하여 사용자에게 알림하고 사전에 등록된 사료회사 담당자에게 자동 연락하는 시스템 구축.
- (7) 추후 SKT,KT 시스템과 연계할 경우 저렴한 무선통신 비용을 통한 시스템구축이 용이하도록 개발하였음.
- (8) 현 시스템을 농가에 게이트웨이를 설치 한후 인터넷에 연결시키고 로라 무선통신망을 이용하여 무선 레이저식 사료빈 관리기와 연동하여 서비스를 할수있도록 설계하였다.



그림 184 사료빈 닫힘상태

그림 185 사료빈 뚜껑 열림 상태

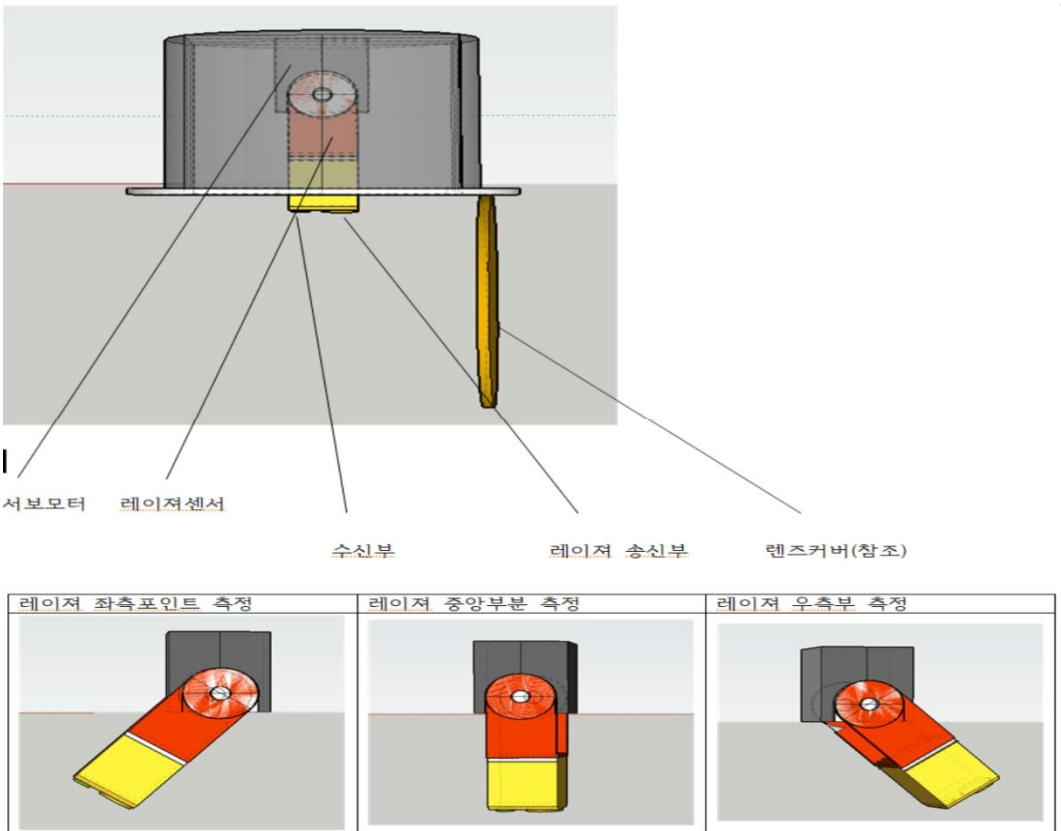


그림 186 사료빈 관리기 구성도

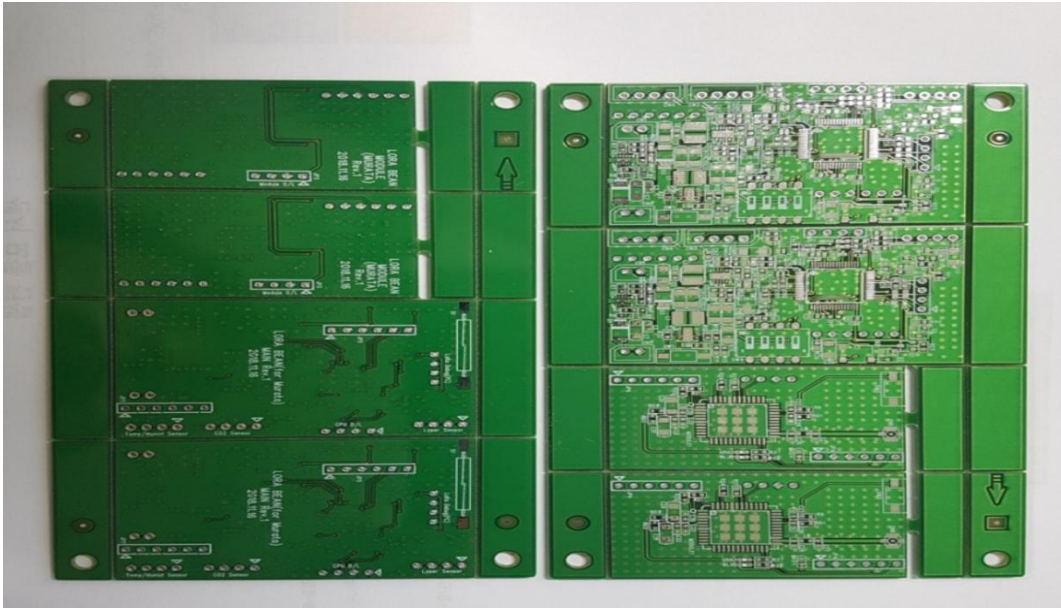


그림 188 제작도

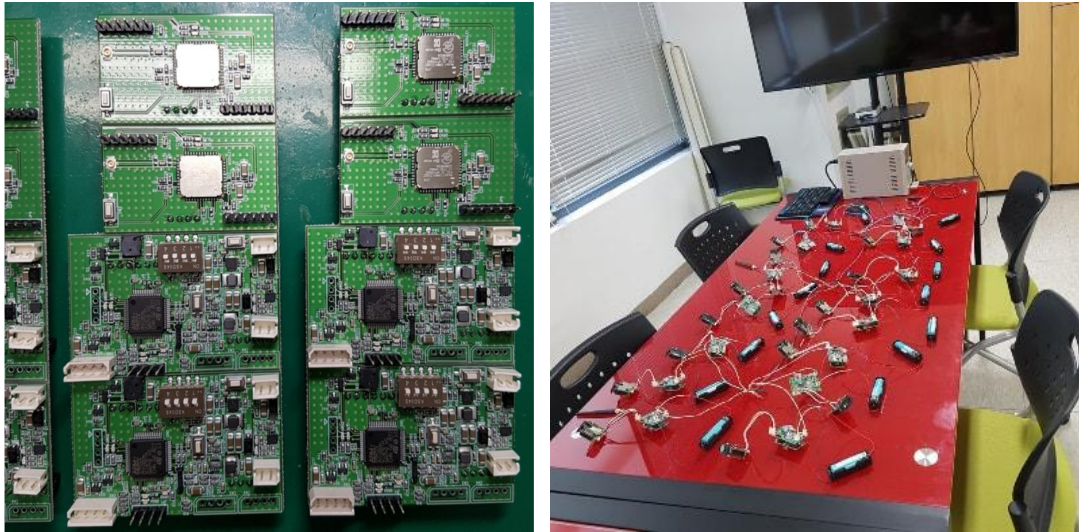


그림 189 다채널 테스트

라. 현장설치



그림 190 레이저센서 설치



그림 191 현장 설치 운영중

별당글 사로번.txt - 메모장

파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)

"2398"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"00"	"1207"	"0"	"Y"	"2018-06-07 00:00:02.463"	"2018-06-07 00:59:12.650"	"fromBean"
"2399"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"00"	"1177"	"0"	"Y"	"2018-06-07 00:00:13.093"	"2018-06-07 00:59:56.843"	"fromBean"
"2400"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"01"	"1207"	"0"	"Y"	"2018-06-07 01:00:04.373"	"2018-06-07 01:59:54.940"	"fromBean"
"2401"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"01"	"1177"	"0"	"Y"	"2018-06-07 01:00:15.010"	"2018-06-07 01:59:58.037"	"fromBean"
"2402"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"02"	"1177"	"0"	"Y"	"2018-06-07 02:00:04.110"	"2018-06-07 02:59:54.650"	"fromBean"
"2403"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"02"	"1200"	"0"	"Y"	"2018-06-07 02:00:05.647"	"2018-06-07 02:59:56.207"	"fromBean"
"2404"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"03"	"1177"	"0"	"Y"	"2018-06-07 03:00:00.723"	"2018-06-07 03:59:56.390"	"fromBean"
"2405"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"03"	"1198"	"0"	"Y"	"2018-06-07 03:00:02.297"	"2018-06-07 03:59:53.230"	"fromBean"
"2406"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"04"	"1177"	"0"	"Y"	"2018-06-07 04:00:02.390"	"2018-06-07 04:59:52.180"	"fromBean"
"2407"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"04"	"1198"	"0"	"Y"	"2018-06-07 04:00:03.983"	"2018-06-07 04:59:49.040"	"fromBean"
"2408"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"05"	"1177"	"0"	"Y"	"2018-06-07 05:00:04.283"	"2018-06-07 05:59:54.190"	"fromBean"
"2409"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"05"	"1200"	"0"	"Y"	"2018-06-07 05:00:05.843"	"2018-06-07 05:59:55.700"	"fromBean"
"2410"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"06"	"1175"	"0"	"Y"	"2018-06-07 06:00:00.647"	"2018-06-07 06:59:56.270"	"fromBean"
"2411"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"06"	"1193"	"0"	"Y"	"2018-06-07 06:00:01.833"	"2018-06-07 06:59:57.777"	"fromBean"
"2412"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"07"	"1175"	"0"	"Y"	"2018-06-07 07:00:02.317"	"2018-06-07 07:59:57.927"	"fromBean"
"2413"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"07"	"1199"	"0"	"Y"	"2018-06-07 07:00:03.893"	"2018-06-07 07:59:59.400"	"fromBean"
"2414"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"08"	"1165"	"0"	"Y"	"2018-06-07 08:00:03.977"	"2018-06-07 08:59:59.797"	"fromBean"
"2415"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"08"	"1181"	"0"	"Y"	"2018-06-07 08:00:05.483"	"2018-06-07 08:59:55.220"	"fromBean"
"2416"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"09"	"1188"	"0"	"Y"	"2018-06-07 09:00:01.283"	"2018-06-07 09:59:57.650"	"fromBean"
"2417"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"09"	"1166"	"0"	"Y"	"2018-06-07 09:00:22.590"	"2018-06-07 09:59:56.090"	"fromBean"
"2418"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"10"	"1195"	"0"	"Y"	"2018-06-07 10:00:03.693"	"2018-06-07 10:59:55.180"	"fromBean"
"2419"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"10"	"1166"	"0"	"Y"	"2018-06-07 10:00:08.217"	"2018-06-07 10:59:59.770"	"fromBean"
"2420"	"3334"	"24"	"2018-06-07"	"11"	"1191"	"0"	"Y"	"2018-06-07 11:00:01.243"	"2018-06-07 11:51:42.280"	"fromBean"
"2421"	"3334"	"23"	"2018-06-07"	"11"	"1167"	"0"	"Y"	"2018-06-07 11:00:05.820"	"2018-06-07 11:51:46.767"	"fromBean"
"2350"	"3334"	"24"	"2018-06-06"	"00"	"1343"	"0"	"Y"	"2018-06-06 00:00:02.920"	"2018-06-06 00:59:54.137"	"fromBean"
"2351"	"3334"	"23"	"2018-06-06"	"00"	"1267"	"0"	"Y"	"2018-06-06 00:00:07.490"	"2018-06-06 00:59:52.620"	"fromBean"
"2352"	"3334"	"23"	"2018-06-06"	"01"	"1267"	"0"	"Y"	"2018-06-06 01:00:00.210"	"2018-06-06 01:59:55.257"	"fromBean"

그림 192 log Data

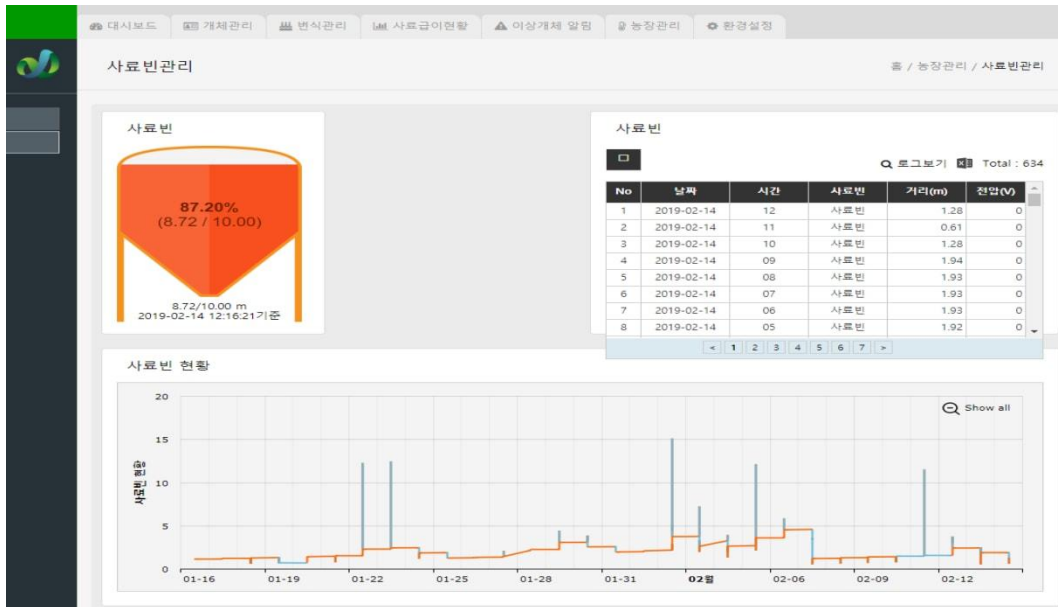


그림 193 사료빈 관리기 웹사이트 기반 제어

마. 고찰

- (1) 기존 사료빈관리기는 350만원 이상의 제품가격이 형성됨.
- (2) 현 제품의 경우 대량 공급될 경우 35만원대로 공급이 가능함.
- (3) 10배 이하의 가격으로 대부분 농장에 공급이 가능함.
- (4) 최근 주 52시간 근무체계 확보를 위한 필수 아이템으로 활용가능성이 대두되어 많은 관심이 있음.
- (5) 관련 특허 및 보급형 제작을 위한 SK텔레콤의 LORA서비스팀과 협업준비중임.

5. ICT 농장제어 시스템 개발 [원치커튼 자동제어기]

가. 개요

- (1) 기존 위치커튼은 사용자가 현장에 위치해야만 제어가 가능함. 날씨에 문제가 있거나 급하게 조작해야할 경우 현장까지 관리자가 방문하여 제어해야하는 불편함이 있음. 환경에 따라 자동 관제하는 기능을 구현하기가 어려움. 농장의 환경모니터링을 통한 환경정보 구축을 이용하여 농장을 실시간 제어하기위한 장치의 필요성이 대두됨.
- (2) ICT 시대를 맞이하여 축사관리장치의 현대화 필요함.
- (3) 현장에서 노동력에 의한 관리가 필요했던 부분을 ICT기술을 활용하여 원격지에서 모바일폰에 의한 관리가 가능하도록 구현함으로 축산기술의 선진화를 도모함.
- (4) 표준화된 프로토콜 기반 통신기술을 활용하여 신뢰성을 높이고 개발된 기술의 안전성을 확보할 필요성이 있음.



그림 194 일반적인 원치커튼 및 제어기 예시

나. 설계 및 제작

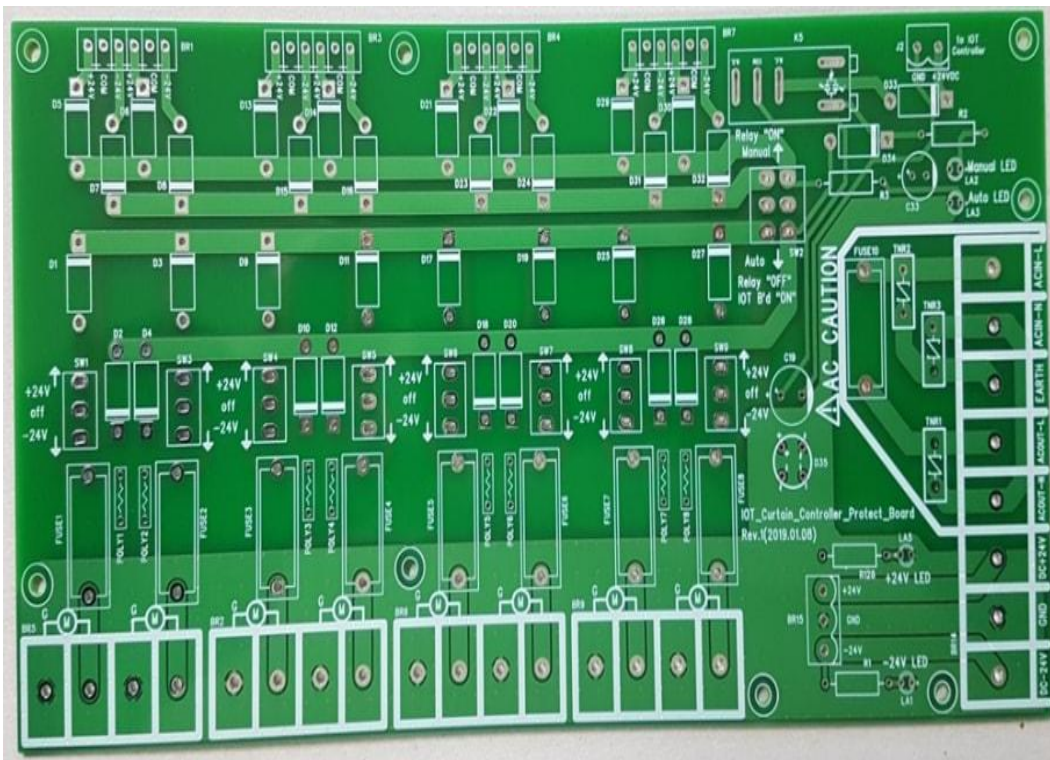
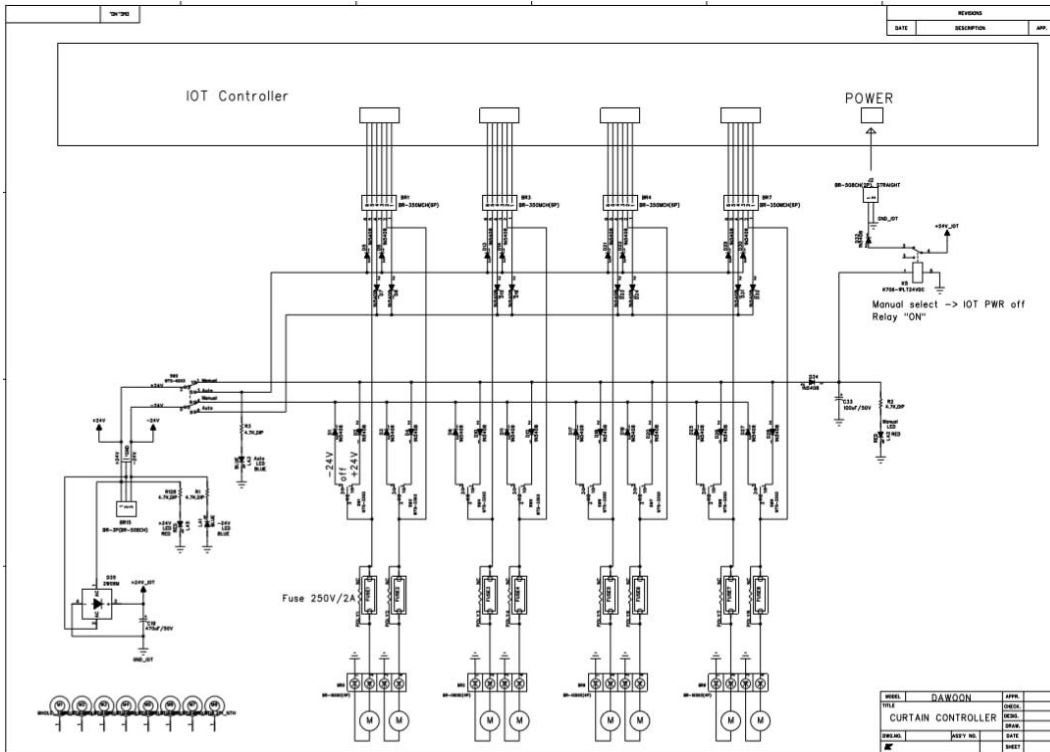


그림 195 회로도

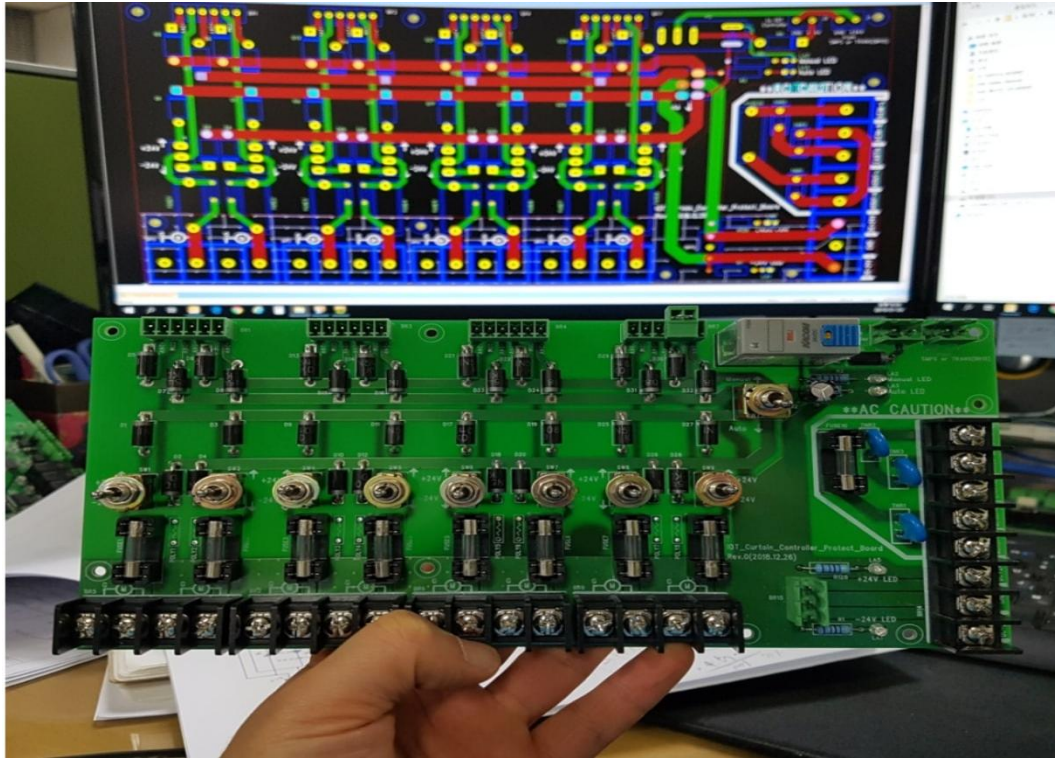


그림 196 제작도

다. 설치도



그림 197 제작 및 현장설치



그림 198 현장설치 상태

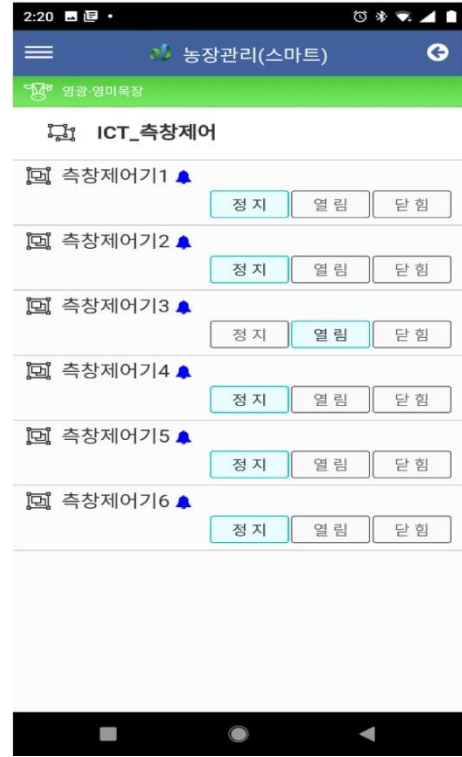


그림 199 모바일 원격 제어

라. 고찰

- (1) 모바일 폰을 통한 커튼을 원격으로 제어할수 있게됨.
- (2) 핸드폰이 가능한 지역에서는 언제나 제어가능함.
- (3) MQTT통신 방식을 활용하여 LTE모뎀을 사용하는 경우에도 동작.
- (4) 제어장치 사용LOG를 웹서버에 저장함으로 제어이력 확인 가능.
- (5) 저렴하고 간단한 구성을 통한 ICT제어기능 확보됨.
- (6) 천정개폐등 다양한 기능으로 확대 생산 가능함.

6. ICT 농장제어 시스템 개발

가. 개요

- (1) ICT 기능을 활용하여 환기시스템 원격제어 사용가능(8채널 / 16채널 원격 제어기능 확보)
- (2) 무선 데이터통신 기술을 활용한 배선 간략화
- (3) 필요에 따른 환기시스템 원격제어를 통한 농장관리 효율성 제고.
- (4) 다양한 시스템의 원격제어 가능함.
- (5) 환기팬제어
- (6) 히터제어

- (7) 한우자동급이기 원격제어
- (8) 환기창 원격제어
- (9) 사료이송장치 원격제어 등



그림 200 ICT 무선 제어기 8채널

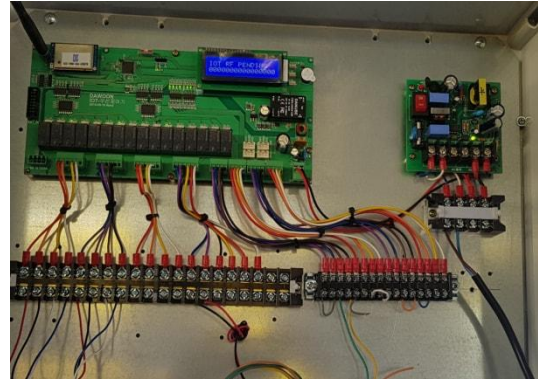


그림 201 ICT 무선원격제어기 16채널



그림 202 무선 원격 제어기 제작 상태

나. 현장설치 운영



그림 203 젖소농장 현장설치 운영중

7. ICT 농장제어 시스템 개발 [음수량 측정센서]

가. 개요

- (1) 환경관련 센서의 다양성 확보를 위한 센서인터페이스 장치 추가중
- (2) 음수량 측정을 위한 센서 설치 및 관련 인터페이스 설치
- (3) 음수량센서, LORA 통신모듈설치를 통한 음수량 모니터링 기능구현
- (4) 한우,젖소, 양돈,양계등 다양한 축종에서 활용가능

나. 제품구성



그림 204 초음파 수량측정기 RS485형식

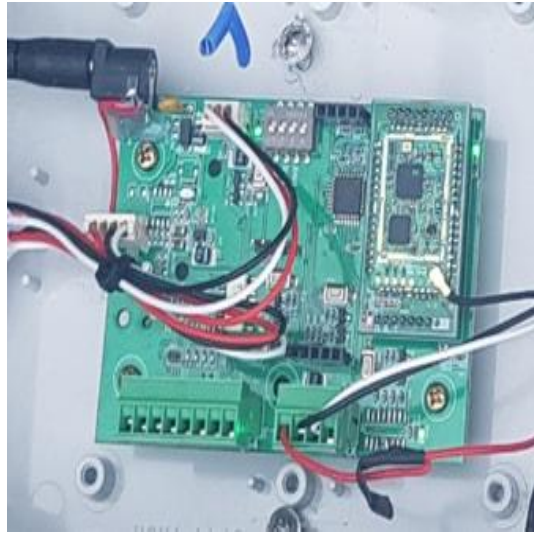


그림 205 인터페이스 LoRa

다. 설치 및 관리



그림 206 음수량 제어기 설치 및 관리 상태

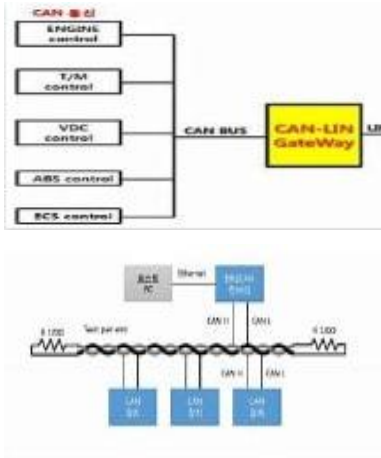
8. ICT 농장제어 시스템 개발 [기타]

- 가. 추가로 필요한 제품군을 선정하여 ICT제품군 추가 개발함.
- 나. 일반 농장에서 타 축종까지 사용가능한 제품군 개발을 통한 축산ICT제품군의 대부분을 충족할수 있는 시스템을 개발 현장 보급완료
- 다. 현장 검증을 통한 시스템 개선중
- 라. 2019년 IPET 스마트팜 제품군 상용화 과제와 연계하여 상용화율을 높이고 현장 보급 및 이윤창출을 위해 노력하겠음.

기능 및 제원	이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 조명 제어기 - ICT기반 모바일 통합제어가능 - 점등시간 및 지연 시간 설정 가능 - 소등시간 및 지연 시간 설정 가능 - 예약 점등 소등가능 	 <p>The image shows a blue and grey electronic control unit labeled 'LCU-2000 Lighting Control Unit' by SHINA SYSTEM. It features a digital display and several indicator lights at the top, and four slots for modules at the bottom, each with a 'ON' button.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - 통합 인터페이스 기반 CCTV운영가능 - 팬틸트, 일반선택 및 운영가능 - 무선 시스템 운영가능 	 <p>The image shows a white Bosch CCTV camera with a black lens and a mounting bracket. The Bosch logo is visible on the side of the camera housing.</p>

기능 및 제원

- 계사 음수문제 자동알림 시스템 개발
- 양계장 1개 동에 일반적으로 32개정도의 음수라인이 설치되는데, 잦은 음수라인 막힘 및 누수 등에 따른 음수불가 문제 발생에 대한 농가의 불편요소해결에 대한 요구가 많음
- 음수라인에 모니터링 방식을 개선함
- 기존 관리자가 안시관측을 통해 음수수압을 확인 하던 관행을 전자식 수위감지센서를 개발하여 설치함으로써 실시간 모니터링 및 문제발생시 모바일 알람을 통한 신속한 경고시스템 구축이 가능
- 동당 32개의 센서를 수용할 수 있는 시스템 개발 필요
- CAN통신기반 기술사용 개발



이미지



- 열풍기 또는 히터제어기
- 온도관리의 중요한 역할을 하는 히터 및 열풍기의 자동제어를 통한 환경관리가능
- 웹 및 모바일 관제 및 제어서비스 가능



기능 및 제원	이미지
<ul style="list-style-type: none"> - 한우 계류식 자동급이기 관리 	
<ul style="list-style-type: none"> - 계사에 설치되는 무인 무게측정장치 연동 - 기존 제품과 데이터 연동을 통한 자료기록 및 통합인터페이스 제공 - 일당 증체량 및 섭취량의 종합자료 제공가능 - 날갯짓, 뛰기 등 양계의 특수한 행동에도 신뢰성 있는 데이터를 전송 가능한 계사용 차종 체중측정장치 및 개발 	
<ul style="list-style-type: none"> - 수압측정 및 수압불량감지 기술의 ICT시스템 통합 - 환기제어 기술의 ICT시스템 통합 - 화재감지 기술의 ICT시스템 통합 - 신규 ICT기술과 통합된 시스템 제작 및 현장검증 - 빅데이터 자료 확보를 통한 검증체제 확립 	
 <p style="text-align: center;">그림 215 바일 환경모니터링 및 제어를 위한 통합관리 앱</p>	

5절 국산화 ICT 기자재 통합 현장설치

가. 국산화 ICT 기자재 통합 설치 운영

(1) 설치장소, 일자: 대전시 충남대학교, 2018년 11월

(2) 설치 제품

(가) 한우용 사료 섭취량 조사기 및 한우용 자동 사료급여기

(나) 사료빈, 이송라인

(다) 축사용 환경관리 시스템, 환기팬 제어시스템

(3) 설치 운영 사진



그림 216 한우용 게이트 설치 운영



그림 217 한우용 사료섭취량 조사기 및 자동사료 급여기 설치 운영



그림 218 사료빈 및 이송파이프 설치



그림 219 축사용 환기팬 설치

6절 전용 제어 프로그램 제작

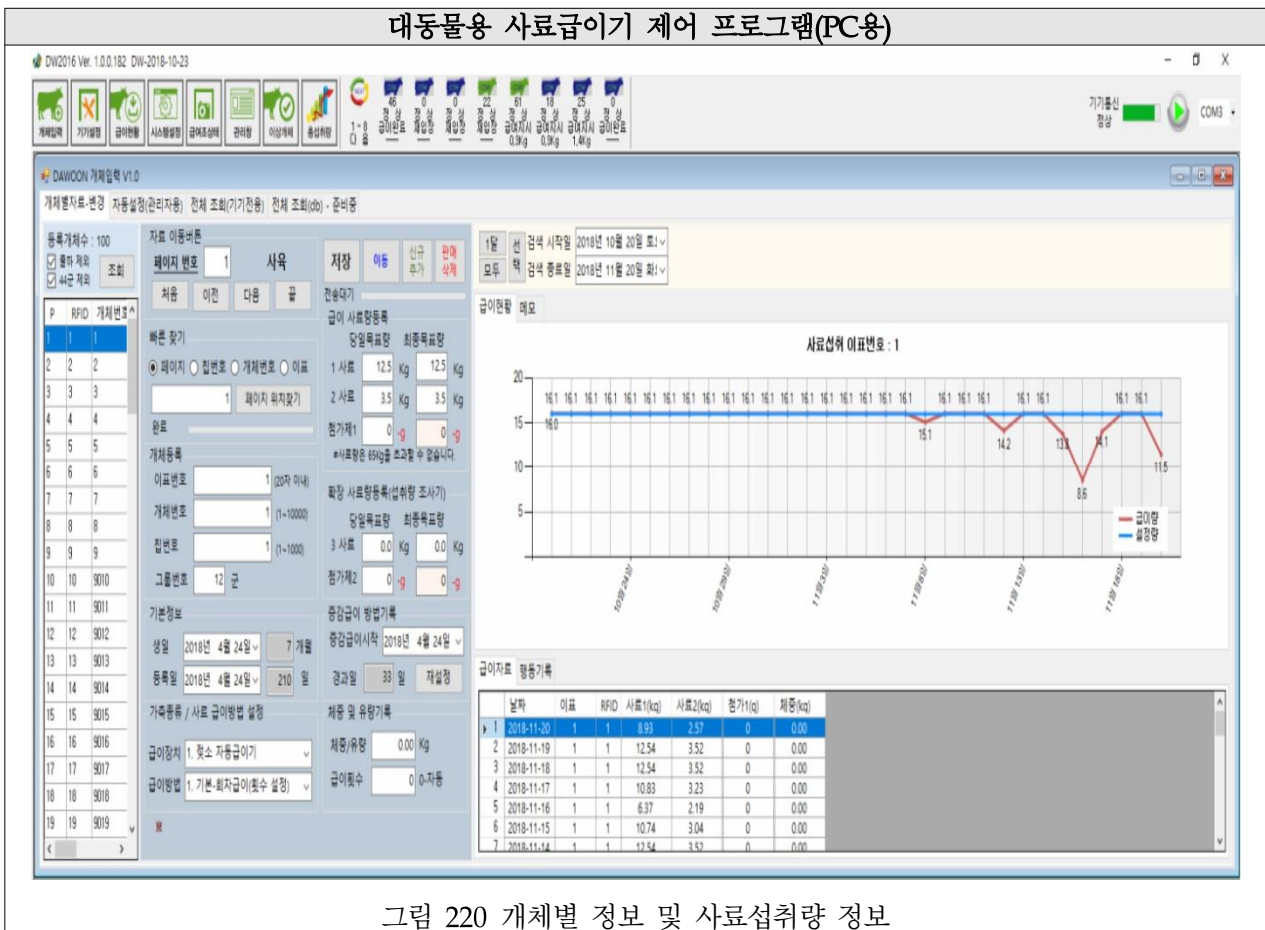
1. 대동물용 사료급이기 제어 프로그램(PC용)

가. 개체별 자료 관리, 군별 자료관리 가능

나. 개체별 급이·사료섭취 현황, 군별 급이·사료섭취 현황 모니터링, 행동자료 기록

다. 일령별, 월령별, 체중별 급이 가능

라. 사료섭취량 이상 발생시 사용자 알림 기능 지원



대동물용 사료급이기 제어 프로그램(PC용)

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23

DAWONON 개체입력 V1.0

개체별자료-변경 자동설정(관리자용) 전체 조회(기전용) 전체 조회(db) - 관리자

데이터 표시: 데이터 출력: EXCEL 미러보기 파일저장/출력 카운트: 100 DB경신 DB비교 플린수: 0

index	이표번호	능가번호	RFID번호	그룹	사료1	목표사료1	사료2	목표사료2	사료3	목표사료3	첨가1	목표첨가1	첨가2	목표첨가2	저장/자유량	역출회수	생일	등록일	중금금이사행일	중금금이경과일	급이방법
17	9017	9017	17	17	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	0	참소 자동
18	9018	9018	18	7	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	33	참소 자동
19	9019	9019	19	12	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	24	참소 자동
20	9020	9020	20	15	6.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	54	참소 자동
21	9021	9021	21	13	8.00	12.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	50	참소 자동
22	9022	9022	22	7	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	66	참소 자동
23	9023	9023	23	17	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	0	참소 자동
24	9024	9024	24	5	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	56	참소 자동
25	9025	9025	25	5	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	40	참소 자동
26	9026	9026	26	9	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2017-12-14	2017-12-14	2017-12-14	44	참소 자동
27	9027	9027	27	10	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	29	참소 자동
28	9028	9028	28	13	12.00	12.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	33	참소 자동
29	9029	9029	29	12	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	28	참소 자동
30	9030	9030	30	13	12.00	12.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	54	참소 자동
31	9031	9031	31	12	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	29	참소 자동
32	9032	9032	32	8	13.00	13.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2017-12-14	2017-12-14	2017-12-14	34	참소 자동
33	9033	9033	33	15	6.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	38	참소 자동
34	9034	9034	34	27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	0	참소 자동
35	9035	9035	35	2	5.00	7.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	50	참소 자동
36	9036	9036	36	13	11.00	11.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	2018-04-24	2018-04-24	2018-04-24	41	참소 자동

그림 221 사료섭취량 조회 및 검색, 파일 저장

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23 - [DAWONON 급이현황 V1.0]

그룹별 급이현황 개체 총섭취량 평동자료표-기기전용 급이현황-기기전용 평동자료-조건검색(DB) 출생취량

검색 조건: 생년월일 2017년 3월 1일 ~ 2018년 11월 20일 ~ 데이터 출력:

키	이표번호	개체번호	생년월일	등록일	출하일	개월/일수	사료총합	1사료	2사료	3사료	첨가1	첨가2	그룹
1	1	1	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3683.18	2962.75	720.43	0.00	0.00	0.00	12
2	2	2	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2794.85	2355.37	439.48	0.00	0.00	0.00	4
3	3	3	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	442.79	442.03	0.76	0.00	0.00	0.00	27
4	4	4	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	938.06	938.06	0.00	0.00	0.00	0.00	16
5	5	5	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	792.78	695.73	97.05	0.00	0.00	0.00	27
6	6	6	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3071.90	2499.60	572.30	0.00	0.00	0.00	15
7	7	7	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3575.99	2919.87	656.12	0.00	0.00	0.00	13
8	8	8	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3075.03	2569.84	505.19	0.00	0.00	0.00	16
9	9	9	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3665.25	2981.07	684.18	0.00	0.00	0.00	7
10	9010	9010	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2030.02	1786.31	243.71	0.00	0.00	0.00	27
11	9011	9011	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	736.76	736.76	0.00	0.00	0.00	0.00	16
12	9012	9012	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	1273.26	1120.41	152.85	0.00	0.00	0.00	27
13	9013	9013	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2578.71	2237.81	340.90	0.00	0.00	0.00	1
14	9014	9014	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2306.05	1886.81	419.24	0.00	0.00	0.00	7
15	9015	9015	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	1053.32	907.73	145.59	0.00	0.00	0.00	27
16	9016	9016	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3402.59	2787.82	614.77	0.00	0.00	0.00	13
17	9017	9017	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	650.70	650.70	0.00	0.00	0.00	0.00	17
18	9018	9018	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2246.50	1802.94	443.56	0.00	0.00	0.00	7
19	9019	9019	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3766.93	3028.39	738.54	0.00	0.00	0.00	12
20	9020	9020	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3180.03	2651.46	528.57	0.00	0.00	0.00	15
21	9021	9021	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2724.33	2175.46	548.87	0.00	0.00	0.00	13
22	9022	9022	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2107.81	1727.14	380.67	0.00	0.00	0.00	7
23	9023	9023	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	1059.79	991.98	67.81	0.00	0.00	0.00	17
24	9024	9024	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2667.45	2300.17	367.28	0.00	0.00	0.00	5
25	9025	9025	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2423.49	2146.33	277.16	0.00	0.00	0.00	5
26	9027	9027	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3756.51	3025.98	730.53	0.00	0.00	0.00	10
27	9028	9028	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3494.12	2860.55	633.57	0.00	0.00	0.00	13
28	9029	9029	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3622.90	2935.00	687.90	0.00	0.00	0.00	12
29	9030	9030	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3321.25	2695.22	626.03	0.00	0.00	0.00	13
30	9031	9031	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3630.66	2939.91	690.75	0.00	0.00	0.00	12
31	9033	9033	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3626.38	2932.52	693.86	0.00	0.00	0.00	15
32	9034	9034	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	1311.16	1184.00	127.16	0.00	0.00	0.00	27
33	9035	9035	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2633.21	2271.90	361.31	0.00	0.00	0.00	2
34	9036	9036	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	3210.96	2553.45	657.51	0.00	0.00	0.00	13
35	9037	9037	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	2606.70	2140.27	466.43	0.00	0.00	0.00	13
36	9038	9038	2018-04-24	2017-12-14	2018-11-20	7개월/210일	775.33	775.33	0.00	0.00	0.00	0.00	16

진행시간: 0.3 전송패킷: 0 재시도: 0 상태: 전송완료 통신상태

그림 222 개체별 사료섭취량 및 행동자료

대동몰용 사료급이기 제어 프로그램(PC용)

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23 - [DAWOON 급이현황 V1.0]

1-8 디
6 상 급여지시 0.2kg
0 상 재인장
0 상 재인장
0 상 급여완료
27 상 급여지시 1.1kg
0 상 재인장
0 상 급여완료
0 상 급여완료

그룹별 급이현황 개체 총섭취량 행동자료표-기기전용 급이현황-기기전용 행동자료_조건검색(DB) 물섭취량

급이현황 - 군별

선택그룹 전체

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
0-전체	44	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

전체

2018년 11월 20일 화요일

이전
오늘
다음

데이터 보기
급이현황
행동자료

중 없음
1사료(Kg) 564.51/675.00
2사료(Kg) 118.82/148.60
3사료(Kg)
첨가1(g)
첨가2(g)
총섭취(Kg) 683.31/823.60
새로고침
최근데이터: 2018-11-20 오후 5:57:58

구분	집번호	농가	이표번호	그룹	증감	사료1	사료2	총섭취(Kg)	퍼센트(%)	전일섭취(Kg)	전일섭취(%)	급이방법
1	1	1	1	12	33	10.74/12.50	3.04/3.50	13.78/16.00	86%	16.06/16.00	100%	7개월(사용자)
2	2	2	2	4	62	7.51/9.00	2.09/2.50	9.60/11.50	83%	11.59/11.50	101%	7개월(사용자)
3	3	3	3	27	없음	0.00/0.00	0.00/0.00	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	7개월(사용자)
4	4	4	4	16	없음	5.04/5.00	0.00/0.00	5.04/5.00	101%	5.04/5.00	101%	7개월(사용자)
5	5	5	5	27	없음	0.00/0.00	0.00/0.00	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	7개월(사용자)
6	6	6	6	15	51	4.09/6.00	0.57/0.00	4.66/6.00	78%	7.13/7.00	102%	7개월(사용자)
7	7	7	7	13	33	11.21/13.00	1.81/2.00	13.02/15.00	87%	16.53/16.50	100%	7개월(사용자)
8	8	8	8	16	49	5.04/5.00	0.00/0.00	5.04/5.00	101%	5.04/5.00	101%	7개월(사용자)
9	9	9	9	7	23	11.21/13.00	3.04/3.50	14.25/16.50	86%	16.53/16.50	100%	7개월(사용자)
10	10	9010	9010	27	33	0.00/5.00	0.00/1.50	0.00/6.50	0%	0.00/6.50	0%	7개월(사용자)
11	11	9011	9011	16	없음	4.09/4.00	0.00/0.00	4.09/4.00	102%	4.09/4.00	102%	7개월(사용자)
12	12	9012	9012	27	없음	0.00/0.00	0.00/0.00	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	7개월(사용자)
13	13	9013	9013	1	33	2.57/2.50	2.57/2.50	5.13/5.00	103%	4.47/4.40	101%	7개월(사용자)
14	14	9014	9014	7	48	11.21/13.00	3.04/3.50	14.25/16.50	86%	16.53/16.50	100%	7개월(사용자)
15	15	9015	9015	27	없음	0.00/0.00	0.00/0.00	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	7개월(사용자)
16	16	9016	9016	13	31	10.74/12.50	1.81/2.00	12.54/14.50	86%	16.06/16.00	100%	7개월(사용자)
17	17	9017	9017	17	없음	5.04/5.00	0.00/0.00	5.04/5.00	101%	5.04/5.00	101%	7개월(사용자)
18	18	9018	9018	7	33	9.12/13.00	2.57/3.50	11.69/16.50	71%	16.53/16.50	100%	7개월(사용자)
19	19	9019	9019	12	24	11.21/13.00	3.04/3.50	14.25/16.50	86%	16.53/16.50	100%	7개월(사용자)
20	20	9020	9020	15	54	5.51/6.00	0.57/0.00	6.08/6.00	101%	7.13/7.00	102%	7개월(사용자)
21	21	9021	9021	13	50	7.03/8.40	2.95/3.50	9.98/11.90	84%	9.98/11.90	84%	7개월(사용자)

그림 223 군별 당일 사료섭취량 현황 모니터링

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23 - [DAWOON 급이현황 V1.0]

1-8 디
6 상 급여지시 0.5kg
0 상 재인장
0 상 재인장
0 상 급여완료
27 상 급여지시 1.5kg
0 상 재인장
0 상 급여완료
0 상 급여완료

그룹별 급이현황 개체 총섭취량 행동자료표-기기전용 급이현황-기기전용 행동자료_조건검색(DB) 물섭취량

행동

단일
1주
30일

RFID
급이조

데이터 출력

파일저장

시작일 2018년 11월 20일 화요일
종료일 2018년 11월 20일 화요일
RFID 0
급이조 0
DB_Read

구분	일련번호	상태	RFID	날짜	입장시간	채류시간	사료1	사료2	사료3	첨가1	첨가2	체중	급이조
1	58		58	2018-11-20	00:00	04:06	1710	0	0	0	0	0.00	11
2	58		58	2018-11-20	00:04	00:14	0	0	0	0	0	0.00	11
3	68		68	2018-11-20	00:01	04:31	2090	0	0	0	0	0.00	9
4	68		68	2018-11-20	00:05	00:15	0	0	0	0	0	0.00	9
5	65		65	2018-11-20	00:02	06:00	1900	570	0	0	0	0.00	5
6	65		65	2018-11-20	00:08	00:18	0	0	0	0	0	0.00	5
7	80		80	2018-11-20	00:02	06:23	1900	570	0	0	0	0.00	4
8	80		80	2018-11-20	00:08	00:18	0	0	0	0	0	0.00	4
9	44		44	2018-11-20	00:04	04:09	1520	475	0	0	0	0.00	6
10	44		44	2018-11-20	00:08	00:18	0	0	0	0	0	0.00	6
11	43		43	2018-11-20	00:01	07:53	1710	0	0	0	0	0.00	10
12	43		43	2018-11-20	00:09	00:19	0	0	0	0	0	0.00	10
13	4		4	2018-11-20	00:07	03:53	1710	0	0	0	0	0.00	11
14	4		4	2018-11-20	00:10	00:20	0	0	0	0	0	0.00	11
15	63		63	2018-11-20	00:03	07:17	1805	570	0	0	0	0.00	3
16	63		63	2018-11-20	00:10	00:20	0	0	0	0	0	0.00	3
17	56		56	2018-11-20	00:05	05:08	1900	570	0	0	0	0.00	2
18	2		2	2018-11-20	00:06	04:00	1520	475	0	0	0	0.00	7
19	2		2	2018-11-20	00:11	00:21	0	0	0	0	0	0.00	7
20	72		72	2018-11-20	00:08	03:40	1710	0	0	0	0	0.00	9
21	72		72	2018-11-20	00:11	00:21	0	0	0	0	0	0.00	9
22	56		56	2018-11-20	00:11	00:21	0	0	0	0	0	0.00	2
23	26		26	2018-11-20	00:05	08:40	1520	570	0	0	0	0.00	8
24	17		17	2018-11-20	00:10	05:07	1710	0	0	0	0	0.00	10
25	17		17	2018-11-20	00:15	00:25	0	0	0	0	0	0.00	10
26	48		48	2018-11-20	00:12	03:04	1425	0	0	0	0	0.00	11
27	48		48	2018-11-20	00:16	00:26	0	0	0	0	0	0.00	11
28	45		45	2018-11-20	00:12	04:58	1900	570	0	0	0	0.00	5
29	45		45	2018-11-20	00:16	00:26	0	0	0	0	0	0.00	5
30	6		6	2018-11-20	00:13	04:46	1520	285	0	0	0	0.00	3
31	6		6	2018-11-20	00:17	00:27	0	0	0	0	0	0.00	3
32	24		24	2018-11-20	00:14	05:50	1900	570	0	0	0	0.00	4
33	24		24	2018-11-20	00:19	00:29	0	0	0	0	0	0.00	4
34	36		36	2018-11-20	00:16	04:31	1615	570	0	0	0	0.00	7

진행시간: 0.3
전송패킷: 0
재시도: 0
상태: 전송완료
통신상태

그림 224 개체별, 사료급여조별 행동자료 조회, 검색, 저장

대동물용 사료급이기 제어 프로그램(PC용)

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23 - [DAWOON 기기설정 V1.0]

개체입력 기기설정 급여현황 시스템설정 급여조상태 관리항 이상개제 총섭취량

환경설정 1회공급량 자동급여횟수 월령/체중/유량급여 포유기 일령급여 조사기 그룹설정 한우 디스크이송

사료급여방법(월령-체중-유량)에 따른 1일 섭취량을 설정합니다.

전송

	체중/유량(Kq)	제1사료(Kq)	제2사료(Kq)	제3사료(Kq)	첨가제1(q)	첨가제2(q)
▶ 1개월	10	0.50	0.50	0.00	0	0
2개월	20	1.00	1.00	0.00	0	0
3개월	30	1.50	1.50	0.00	0	0
4개월	40	2.00	2.00	0.00	0	0
5개월	50	2.50	2.50	0.00	0	0
6개월	60	3.00	3.00	0.00	0	0
7개월	70	3.50	3.50	0.00	0	0
8개월	80	4.00	4.00	0.00	0	0
9개월	90	4.50	4.50	0.00	0	0
10개월	100	5.00	5.00	0.00	0	0
11개월	110	5.50	5.50	0.00	0	0
12개월	120	6.00	6.00	0.00	0	0
13개월	130	6.50	6.50	0.00	0	0
14개월	140	7.00	7.00	0.00	0	0
15개월	150	7.50	7.50	0.00	0	0
16개월	160	8.00	8.00	0.00	0	0
17개월	170	8.50	8.50	0.00	0	0
18개월	180	9.00	9.00	0.00	0	0
19개월	190	9.50	9.50	0.00	0	0

그림 225 월령별/체중별 사료급여량 설정

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23 - [DAWOON 기기설정 V1.0]

개체입력 기기설정 급여현황 시스템설정 급여조상태 관리항 이상개제 총섭취량

환경설정 1회공급량 자동급여횟수 월령/체중/유량급여 포유기 일령급여 조사기 그룹설정 한우 디스크이송

개체 사료양을 자동으로 나눠 공급하는 회차를 설정합니다

전송

자동 급여횟수 기록

자동급여기용

~ 2Kg까지 : 3 회	15Kg까지 : 7 회
3Kg까지 : 3 회	16Kg까지 : 7 회
4Kg까지 : 3 회	17Kg까지 : 7 회
5Kg까지 : 3 회	18Kg까지 : 8 회
6Kg까지 : 3 회	19Kg까지 : 8 회
7Kg까지 : 4 회	20Kg까지 : 8 회
8Kg까지 : 4 회	21Kg까지 : 9 회
9Kg까지 : 5 회	22Kg까지 : 9 회
10Kg까지 : 5 회	23Kg까지 : 9 회
11Kg까지 : 5 회	24Kg까지 : 9 회
12Kg까지 : 6 회	25Kg까지 : 9 회
13Kg까지 : 6 회	26Kg까지 : 9 회
14Kg까지 : 6 회	26Kg초과~ : 9 회

로봇포유기용

~1Kg까지 : 4 회
2Kg까지 : 4 회
3Kg까지 : 4 회
4Kg까지 : 5 회
5Kg까지 : 5 회
6Kg까지 : 5 회
7Kg까지 : 6 회
8Kg까지 : 6 회
8Kg초과~ : 6 회

그림 226 개체별/체중별 자동사료급여량 및 급여횟수 설정

대동몰용 사료급이기 제어 프로그램(PC용)

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23 - [DAWOON 기기설정 V1.0]

개체입력 기기설정 급이현황 시스템설정 급여조상태 관리창 이상개제 총섭취량

환경설정 | 1회공급량 | 자동급이회수 | 월령/체중/유량급이 | 포유기 일령급이 | 조사기 그룹설정 | 한우 디스크이송

사료급이방법(일령급이)에 따른 1일 섭취량을 설정합니다.

일	제1사료(Kg)	제2사료(Kg)	제3사료(Kg)	첨가제1(q)	첨가제2(q)
1 5	1.00	1.00	0.00	0	0
2 10	1.00	1.00	0.00	0	0
3 15	1.00	1.00	0.00	0	0
4 20	1.00	1.00	0.00	0	0
5 25	1.00	1.00	0.00	0	0
6 30	1.00	1.00	0.00	0	0
7 35	1.00	1.00	0.00	0	0
8 40	1.00	1.00	0.00	0	0
9 45	1.00	1.00	0.00	0	0
10 50	1.00	1.00	0.00	0	0
11 55	1.00	1.00	0.00	0	0
12 60	1.00	1.00	0.00	0	0
13 65	1.00	1.00	0.00	0	0
14 70	1.00	1.00	0.00	0	0
15 75	1.00	1.00	0.00	0	0
16 80	1.00	1.00	0.00	0	0
17 85	1.00	1.00	0.00	0	0
18 90	1.00	1.00	0.00	0	0

그림 227 송아지용 일령급이량 조정

DW2016 Ver. 1.0.0.182 DW-2018-10-23

개체입력 기기설정 급이현황 시스템설정 급여조상태 관리창 이상개제 총섭취량

1-8월 급이완료 0 0 0 0 27 1.0Kg

기기자동관리
 프로세스표시 | 급이량 설정 | Log | 설치경로
 연결기 정보
 - 연결기 이름 : DW2016-20180816 모든자료
 - 연결기 정보 : T15.00
 - 연결기 시간 : 2018-11-20 오후 6:04:00
 - 연동정보 : 연동완료 기기:100,DB:100
 - 개체정보 : 완료
 - 섭취자료 : 성공
 - 행동자료 : 자료없음
 잔여:0,Que:4494
 C: --- 4E: 5 2C: 213 4C: 156
 0 / 0

총 섭취량
 그래프표시 | 날짜 및 사료설정
 급일 총 섭취량: 691.6 Kg / 823.6 Kg 83%
총급이량 섭취
 - 총급이량 (red line)
 - 총섭취량 (blue line)
 11월12일: 848.2, 813.9, 816.4, 812.2, 809.5, 795.3, 795.6, 844.7, 802.7, 798.2, 841.7
 11월13일: 847.9, 845.3, 845.0, 843.2, 845.4, 823.6, 691.6

이상우 표시
 표시 | 설정
 표시두: 33 실시간 전일 표시시간: 18:03:17

일	입번호	이표번호	그룹	총섭취(Kg)	퍼센트	잔일섭취(Kg)	잔일섭취	증감
1	54	9054	1	0.00/2.60	0%	2.00/2.60	77%	↑
2	3	3	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음
3	5	5	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음
4	10	9010	27	0.00/6.50	0%	0.00/6.50	0%	33
5	12	9012	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음
6	15	9015	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음
7	60	9060	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	10
8	71	9071	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음
9	73	9073	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음
10	74	9074	27	0.00/0.00	0%	0.00/0.00	0%	없음

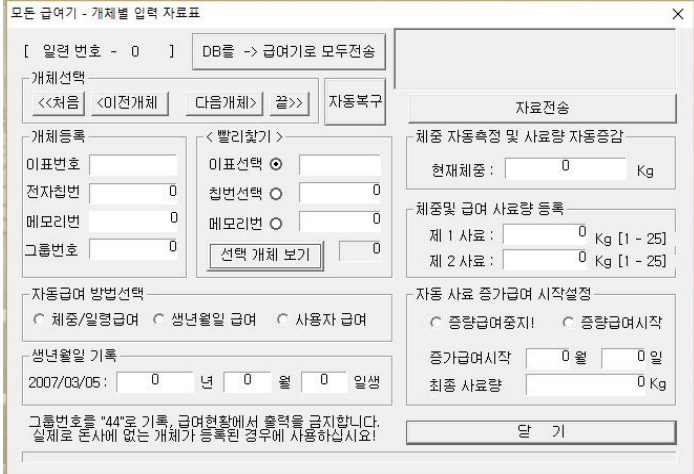
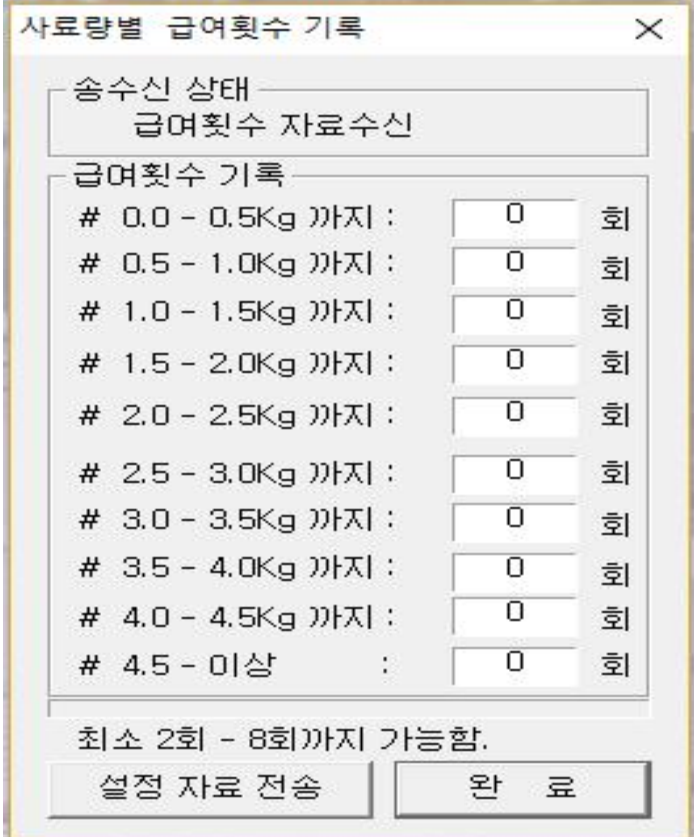
그림 228 사료섭취량 상시 모니터링 및 사용자 알림 제공

2. 모든용 섭취량조사기 관리프로그램(PC용)

가. 기초자료 입력 및 관리, 자동급여 방법 제어

나. 개체별, 기간별 사료 섭취현황 실시간 모니터링, DB 제공

다. 돈사 CCTV 모니터링, 사료섭취량 이상 발생시 사용자 알림 기능 지원

기능 설명	프로그램 화면
<ul style="list-style-type: none"> - 개체별 입력자료표 - 모든 개체 정보를 기록한다. - RFID, 이표번호, 그룹번호 등등 - 자동급여 방법 기록 - 기기 등록일 및 생년월일 기록 - 초기 체중 기록 - 사료정량 기록(1,2,사료) - 사료증감관련 기록 	
<ul style="list-style-type: none"> - 사료량별 자동급여 횟수 기록 - 사료량에따라 차등화된 사료급여횟수 - 지정된 횟수에 맞추어 사료급여 - 무리한 사료섭취금지 - 소화기 계통 부담 감소 	

기능 설명	프로그램 화면																																																																																																																																																
<ul style="list-style-type: none"> - 기기 환경설정 - 기기마다의 사료 토출량 측정 및 기록 - 사료 및 물 공급시간 결정 - 사료급이 중지시간 결정 - 급이 한계량 설정 - 급여 불량론 확인 기능 - 사료 증감량 설정 	<p>[모든 급여기능 환경 설정 자료표]...기기의 세부적인 제어를 기록합니다. [VER 200808 PRO-]</p> <p>급여모터 1 회전시 사료 공급량 기록!</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>급 여 조</th> <th>1번사료</th> <th>2번사료</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> <p>모터제어 시간설정</p> <p>사료 종류 ON-시간 OFF-시간</p> <p>물공급 시간 0 초 0 초</p> <p>예약 <1> 0 초 0 초</p> <p>예약 <2> 0 초 0 초</p> <p>편의기능</p> <p>초기화!!</p> <p>특수기능 설정</p> <p>급여가능 한계량 0 밀로그램</p> <p>급여불량 퍼센트 0 퍼센트(%)</p> <p>일일 사료 자동증가 급여량 설정!</p> <p>100-500그램만 허용 0 그램 (gm)</p> <p>전 송 달 기</p>	급 여 조	1번사료	2번사료	1	0	0	2	0	0	3	0	0	4	0	0	5	0	0	6	0	0	7	0	0	8	0	0	9	0	0	10	0	0																																																																																																															
급 여 조	1번사료	2번사료																																																																																																																																															
1	0	0																																																																																																																																															
2	0	0																																																																																																																																															
3	0	0																																																																																																																																															
4	0	0																																																																																																																																															
5	0	0																																																																																																																																															
6	0	0																																																																																																																																															
7	0	0																																																																																																																																															
8	0	0																																																																																																																																															
9	0	0																																																																																																																																															
10	0	0																																																																																																																																															
<ul style="list-style-type: none"> - 개체별 사료섭취량 그래프 - 7일간 섭취기록 확인가능 - 30일간 섭취기록 확인가능 - 기간별 섭취량과 체중이 그래프로 표현됨. - 해당 개체의 고유 정보가 표시됨. - 최근 섭취량 숫자 단위로 출력됨. 	<p>개체별 일주일간의 급여 그래프</p> <p>급여 그래프 [Kg]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>날짜</th> <th>0</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>급여량</th> <th>비교율</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>5일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>4일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>3일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>2일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>어제급여</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>오늘현재</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td><td>0 %</td></tr> </tbody> </table> <p>체중 그래프 [Kg]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>날짜</th> <th>0</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>400</th> <th>500</th> <th>600</th> <th>700</th> <th>체중값</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> <tr><td>5일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> <tr><td>4일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> <tr><td>3일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> <tr><td>2일전</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> <tr><td>어제급여</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> <tr><td>오늘현재</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0 Kg</td></tr> </tbody> </table> <p>검색(Search)</p> <p>이표선택 <input type="radio"/></p> <p>폰더선택 <input type="radio"/></p> <p>위치선택 <input checked="" type="radio"/></p> <p>우 군 <input type="radio"/></p> <p>검색 (GO)</p> <p>이전개체 다음개체</p> <p>현재 체중 [Kg]</p> <p>0 Kg</p> <p>개체 자료</p> <p>메모리 0</p> <p>설정량 0</p> <p>어제량 0</p> <p>오늘량 0</p> <p>총급여량 0</p> <p>완료 (OK)</p>	날짜	0	5	10	15	20	급여량	비교율	6일전						0 Kg	0 %	5일전						0 Kg	0 %	4일전						0 Kg	0 %	3일전						0 Kg	0 %	2일전						0 Kg	0 %	어제급여						0 Kg	0 %	오늘현재						0 Kg	0 %	날짜	0	100	200	300	400	500	600	700	체중값	6일전									0 Kg	5일전									0 Kg	4일전									0 Kg	3일전									0 Kg	2일전									0 Kg	어제급여									0 Kg	오늘현재									0 Kg
날짜	0	5	10	15	20	급여량	비교율																																																																																																																																										
6일전						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
5일전						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
4일전						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
3일전						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
2일전						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
어제급여						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
오늘현재						0 Kg	0 %																																																																																																																																										
날짜	0	100	200	300	400	500	600	700	체중값																																																																																																																																								
6일전									0 Kg																																																																																																																																								
5일전									0 Kg																																																																																																																																								
4일전									0 Kg																																																																																																																																								
3일전									0 Kg																																																																																																																																								
2일전									0 Kg																																																																																																																																								
어제급여									0 Kg																																																																																																																																								
오늘현재									0 Kg																																																																																																																																								
<ul style="list-style-type: none"> - 급여조 상태 출력 - 각각의 급여조의 상태를 출력한다. - CCTV와 같은 모니터링 가능 - 입장한 모든의 기초정보 표현 - 다양한 섭취정보 출력 	<p>모든급여기 현재 급여조 상태 20080821 Update</p> <p>급여조 1 번 급여조</p> <p>칩번호: 0 메모리: 0 총급이횟수: 0</p> <p>급여 설정량: 0 Kg</p> <p>어제 급여량: 0 Kg</p> <p>급일 급여량: 0 Kg</p> <p>현재 섭취량: 0 g</p> <p>현시간 체중: 0 Kg</p> <p>섭취 가능량: 0 g</p> <p>특이 사항: 섭취율 0</p> <p>상태 그래프:</p> <p>급여조 2 번 급여조</p> <p>칩번호: 0 메모리: 0 총급이횟수: 0</p> <p>급여 설정량: 0 Kg</p> <p>어제 급여량: 0 Kg</p> <p>급일 급여량: 0 Kg</p> <p>현재 섭취량: 0 g</p> <p>현시간 체중: 0 Kg</p> <p>섭취 가능량: 0 g</p> <p>특이 사항: 섭취율 0</p> <p>상태 그래프:</p> <p>급여조 3 번 급여조</p> <p>칩번호: 0 메모리: 0 총급이횟수: 0</p> <p>급여 설정량: 0 Kg</p> <p>어제 급여량: 0 Kg</p> <p>급일 급여량: 0 Kg</p> <p>현재 섭취량: 0 g</p> <p>현시간 체중: 0 Kg</p> <p>섭취 가능량: 0 Ste</p> <p>특이 사항: 섭취율 0</p> <p>상태 그래프:</p> <p>급여조 4 번 급여조</p> <p>칩번호: 0 메모리: 0 총급이횟수: 0</p> <p>급여 설정량: 0 Kg</p> <p>어제 급여량: 0 Kg</p> <p>급일 급여량: 0 Kg</p> <p>현재 섭취량: 0 g</p> <p>현시간 체중: 0 Kg</p> <p>섭취 가능량: 0 g</p> <p>특이 사항: 섭취율 0</p> <p>상태 그래프:</p> <p>테스트 7 호출 카운터 5 완료</p>																																																																																																																																																
<ul style="list-style-type: none"> - 기기 현재시간 설정 - 기기내부의 시계를 수정할수 있게한다. - 사용자 시간과 기기 내부시간 통일화 - 실시간 급이기록의 확인 가능 	<p>급여기 현재시간 설정</p> <p>컴퓨터 설정시간</p> <p>2017 년 10 월 24 일 16 시 2 분</p> <p>자료 전송</p> <p>컴퓨터시간 전송</p> <p>급여기 설정시간</p> <p>2000 년 0 월 0 일 0 시 0 분</p> <p>급여기시간 전송</p> <p>새로운 시간설정</p> <p>2017년 10월 24일 화요일 오후 4:02:32</p> <p>새로운시간 전송</p> <p>작업 완료</p>																																																																																																																																																

2. 시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

- 가. 동물 관리용 프로그램의 축종에 상관없이 대부분 구성 및 기능은 대등소이한 특성을 가지고 있다. 개체번호 즉, RFID를 이용한 급이 경우 기초정보, 사료급여, 섭취량 모니터링 등의 사용자의 요구사항이 비슷하기 때문이다. 한우/젖소/양돈 등을 관리하는 프로그램의 경우 내부체계가 비슷하게 구성될 수 있다.
- 나. 농장 내 환경센서를 이용한 환경정보 모니터링 기능 지원한다. 조명, 환기팬의 원격 제어가 가능하다.
- 다. 단, 개체들의 번식을 주관하는 프로그램의 경우 상당한 차이가 있는 관계로 전문적인 프로그램에서는 번식관리 영역은 상당한 노하우를 필요로 한다.
- 라. 본 시스템에서는 번식관리 부분을 제외한 사료섭취량 및 체중에 대한 부분을 모니터링할 수 있는 영역에서만 1차적인 프로그램을 개발하였고, 동물의 섭취량 대비한 체중 및 섭취행동에 대한 전반적인 자료에 대하여 데이터베이스를 구축 운영할 수 있도록 기초 시스템을 구축하였다.
- 마. 2018년 현장검증에서 얻어지는 다양한 데이터를 기록 보관하고 빅데이터화할 수 있는 시스템을 구축하여 꾸준한 실험을 통한 안정적인 서비스가 가능하도록 개선하고 있다.

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)



그림 235 cowplan 로그인 화면 <이미지 출처: www.cowplan.co.kr>

- 농가 사용자 고유 ID, Password 로 로그인 가능함웹사이트 <www.cowplan.co.kr>에서 사용자 로그인 후 시스템 통합 관제 및 모니터링 기능 이용
- 농가의 급이 시스템에서 웹 서버로 데이터 자동 전송, 저장 기능 구현하여 농가의 급이 관련 자료를 웹상에서 조회, 열람 가능함
- 조회한 데이터를 EXCEL 시트 형태로 저장 및 출력이 가능함(단, PC에 Microsoft office EXCEL 프로그램이 설치되어 있어야 지원 가능한 기능)

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

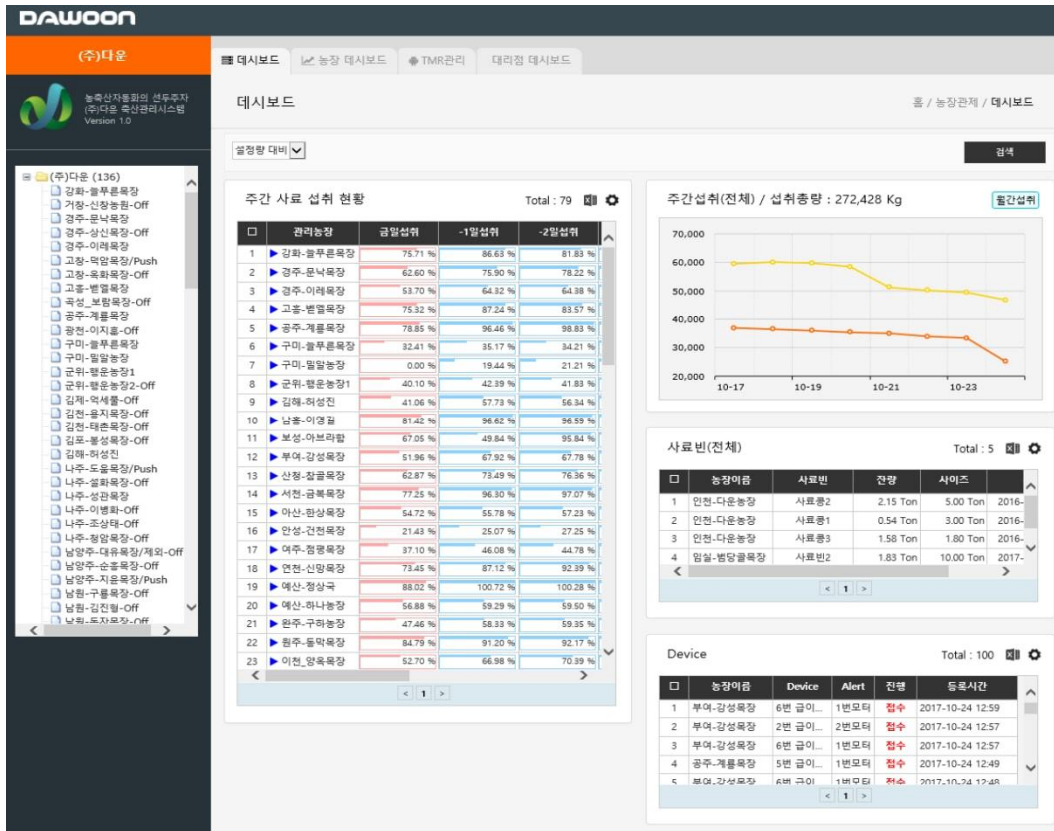


그림 236 통합 관제화면의 대시보드

- 제품을 사용하고 있는 농가의 전체적인 상태를 확인할 수 있는 대시보드 화면
 - 좌측 : 현재 접속되어있는 농장의 상태를 실시간 출력해줌. 농장의 연결상태를 출력, 인터넷 연결상태 확인가능
 - 주간사료 섭취현황: 속되어있는 농가의 최근사료 섭취현황을 가시적으로 보여준다.
 - 주간 섭취그래프: 전체농가의 사료설정 상태와 섭취상태에 대한 비율을 그래프로 표시한다.
 - 사료빈: 사료탱크의 사료 잔량을 웹에서 확인할 수 있도록 하는 기능으로 관련장치가 설치되어있을 경우 유용하게 사용될 수 있다.
 - Device: 설치되어있는 제품의 상태를 검증하여 이상 유무에 대한 알람을 웹에 기록한다. 심각한 문제 발생시 자동으로 관리자에게 알람을 함으로 농가의 피해를 최소화할 수 있는 기능으로 사용된다.

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

농장 대시보드

강화-늘푸른목장 요약정보 / 대표 :

출 사육두수: 65 두

구분	사료1		사료2		사료3	
	섭취량	목표량	섭취량	목표량	섭취량	목표량
오늘	161.60Kg	207.85Kg	152.80Kg	207.85Kg	0Kg	0Kg
어제	182.30Kg	207.85Kg	177.70Kg	207.85Kg	0Kg	0Kg
전일대비	88.86%		89.88%		0%	

주간섭취량

기간	섭취량	목표량
10-17	~370	420
10-19	~350	420
10-21	~370	420
10-23	~330	420

사료섭취

구분	개계	오늘급여	비율	어제급여	비율
1	00209939...	6.30/10.00	63.00%	7.60/10.00	76.0%
2	00209965...	8.60/10.00	86.00%	8.60/10.00	86.0%
3	00209982...	8.60/10.00	86.00%	10.00/10.00	100.0%
4	00210040...	8.30/10.00	83.00%	6.50/10.00	65.0%
5	00210109...	8.00/10.00	80.00%	8.60/10.00	86.0%
6	00210109...	7.30/10.00	73.00%	8.60/10.00	86.0%
7	00210196...	7.30/10.00	73.00%	6.90/10.00	69.0%
8	00210210...	7.60/10.00	76.00%	8.60/10.00	86.0%
9	00210356...	4.40/10.00	44.00%	2.20/10.00	22.0%
10	00210357...	8.60/10.00	86.00%	8.60/10.00	86.0%
11	00210363...	7.10/10.00	71.00%	7.20/10.00	72.0%

체중관리

등록된 기록 없음 (No Result)

번식관리

등록된 기록 없음 (No Result)

일정

구분	날짜	구분	일명	접수일
1	2017-10-24	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-24 00:00
2	2017-10-23	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-23 00:00
3	2017-10-22	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-22 00:00
4	2017-10-21	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-21 00:00
5	2017-10-20	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-20 14:14
6	2017-10-19	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-19 00:00
7	2017-10-18	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-18 00:00
8	2017-10-17	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-17 00:00
9	2017-10-16	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-16 00:00
10	2017-10-15	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-15 00:00
11	2017-10-14	과거섬	이전-섬취 이상 - 상세 참고	10-14 00:00

그림 237 개별 농장 선택시 대시보드 화면구성

- 현재 상태를 통합적인 화면으로 보여준다.
- 세부 정보를 요약 사용자에게 쉽게 파악하도록 구현
- 관리 센터나 서비스센터에서 통합관제 화면으로 사용될 수 있도록 프로그램됨.
- 농장 전용 대시보드 화면
 - 좌측: 현재 농장의 CCTV가 운영되고 있을 경우 화면을 순차적으로 출력해줌. 5분 단위로 캡처 화면을 기록하여 각 CCTV화면에 출력함. 해당 카메라를 선택하면 전용화면으로 이동하여 CCTV를 관제 할 수 있음
 - 주간사료 섭취현황: 접속되어있는 농가의 최근사료 섭취현황을 가시적으로 보여준다.
 - 주간 섭취그래프: 전체농가의 사료설정 상태와 섭취상태에 대한 비율을 그래프로 표시한다.
 - 체중관리: 측정된 체중을 관리기록한다.
 - 번식관리: 등록된 번식관리 기록을 화면에 보여주는 창
 - 일정: 농가가 해야할 일정 등의 스케줄을 보여줌

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

그림 238 개체별 입력자료표 기록부

- 개체 특성 및 기초자료 입력
- 최근 섭취량 및 관리기록부 작성
- 일정 및 메모 작성
- 최근 이미지 기록 가능

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

사료급여현황

총섭취량 : 316.33(4) 374 Total : 65

구분	번호	농가개체	RFID	그룹	급여량	급여성취(%)	전일성취(%)	전일성취량	체중(kg)	번식상태	구분
1	002310459...	5949	68	5	1.63/2.03	80.20%	100.00%	2.03/2.03			월령 : 33
2	002100408...	826	71	14	8.33/10.03	83.05%	85.10%	6.53/10.03			월령 : 28
3	002099397...	9773	72	13	6.33/10.03	63.11%	76.07%	7.63/10.03			월령 : 28
4	002101868...	6822	73	12	7.33/10.03	73.02%	68.09%	6.83/10.03			월령 : 27
5	002103257...	7211	75	14	8.63/10.03	86.04%	86.04%	8.63/10.03			월령 : 26
6	002103568...	6895	77	13	4.46/10.06	44.33%	22.37%	2.25/10.06			월령 : 26
7	002103825...	2541	79	11	7.13/10.03	71.09%	72.08%	7.23/10.03			월령 : 27
8	002099654...	5497	82	11	8.63/10.03	86.04%	86.04%	8.63/10.03			월령 : 28
9	002311647...	4723	83	10	8.63/10.03	86.04%	86.04%	8.63/10.03			월령 : 27
10	002311749...	4943	84	10	8.63/10.03	86.04%	86.04%	8.63/10.03			월령 : 28

행동자료(RFID: 68 / 농가개체: 5949 / 입장횟수: 7)

월간섭취

번식정보 (RFID: 68 / 농가개체: 5949 / 입장횟수: 7)

최근 번식 정보

최종분만일: 산차: 일령:

현재 번식 정보

수정일: 2017-10-24

수정확인: 원산장점: 잔유시각: 분만예정: 분만일:

그림 239 개체별 사료급여 현황 관리창

- 금일 급여내역
- 행동자료 (입장/체류시간/입장횟수/섭취량/섭취장소)기록
- 어제 행동자료 확인가능
- 월간 섭취현황 및 그래프 보기
- 번식관련 기록부 보기
- 개체 선택창

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

DAWOON
강화·늘푸른목장

농축산민중위의 선두주자
(유기농 축산관리시스템
Version 1.0)

이상개제 알림 (이상개제는 전일(-1일)과 전전일(-2일)의 섭취량을 비교하여 $\pm 500g$ 이상의 차이가 있는 개체를 나타냅니다.)

2017-10-24

이상 알림 Total : 22

번호	개체정보	일련일	구분	내용	진행	확인
1	전일 섭취이상	2017-10-24	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
2	전일 섭취이상	2017-10-23	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
3	전일 섭취이상	2017-10-22	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
4	전일 섭취이상	2017-10-21	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
5	전일 섭취이상	2017-10-20	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
6	전일 섭취이상	2017-10-19	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
7	전일 섭취이상	2017-10-18	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
8	전일 섭취이상	2017-10-17	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
9	전일 섭취이상	2017-10-16	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
10	전일 섭취이상	2017-10-15	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
11	전일 섭취이상	2017-10-14	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
12	전일 섭취이상	2017-10-13	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
13	전일 섭취이상	2017-10-12	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
14	전일 섭취이상	2017-10-11	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
15	전일 섭취이상	2017-10-10	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
16	전일 섭취이상	2017-10-09	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
17	전일 섭취이상	2017-10-08	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
18	전일 섭취이상	2017-09-29	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
19	전일 섭취이상	2017-09-28	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
20	전일 섭취이상	2017-09-27	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
21	전일 섭취이상	2017-09-26	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인
22	전일 섭취이상	2017-09-25	과거섭취이상	이전-섭취 이상 : 상체...	합수	확인

상세정보 Total : 0

그림 240 섭취 불량 개체 확인

- 어제 섭취량 대비 금일섭취량의 편차를 검사 30%이상의 문제 발생시 경고
- 사용자에게 신속한 경고로 문제점 조기 발견 가능
- 기기의 동작 이력을 데이터베이스화 함으로 신뢰성 증가

시스템 통합 관제용 웹사이트(웹용)

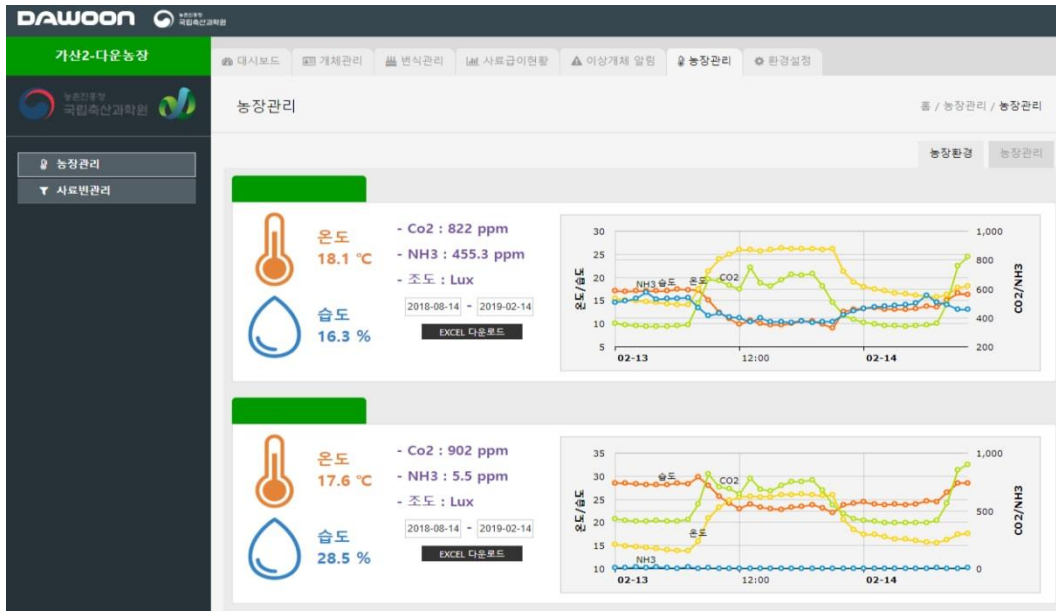


그림 241 농장 환경 관리

- 농장의 온도/습도/CO2등 다양한 센서에 대한 자료를 웹으로 관리가능
- 빅데이터화로 생산정보로 활용가능함.
- 원격제어 가능



그림 242 농장에 설치운영중인 사료탱크의 사료 잔량

- 농장에 설치운영중인 사료탱크의 사료 잔량을 실시간 확인가능.
- 연동되는 장치가 설치 운영중일 경우 가능
- 지정된 잔량이 사료회사로 자동 주문 가능
- 관련 정보를 농장주/사료회사 동시 전달

3. 시스템 통합 관제용 어플리케이션(모바일용)

- 가. 안드로이드 운영체제의 스마트폰에서 지원, 개체별 기초정보, 사료급여, 섭취량 모니터링 등의 사용자 요구사항을 지원
- 나. 번식관리 기능 지원하며 모바일 화면에 맞춘 섭취정보의 조회 및 실시간 급이 모니터링, 급이량 변경 기능 지원
- 다. 급이량 이상 알람, 번식단계 알람 등의 사용자 알림 기능 지원

관제용 어플리케이션(모바일용) 화면	
	<ul style="list-style-type: none"> - 안드로이드용 스마트폰의 어플리케이션 마켓을 통하여 설치 - 사용 농가에 부여한 고유 아이디, 고유 비밀번호를 이용하여 로그인 - 농가별로 설치된 ICT 기기의 품목에 따라 지원 가능한 기능을 제공
<p>그림 243 안드로이드용 어플리케이션 설치</p>	

관계용 어플리케이션(모바일용) 화면

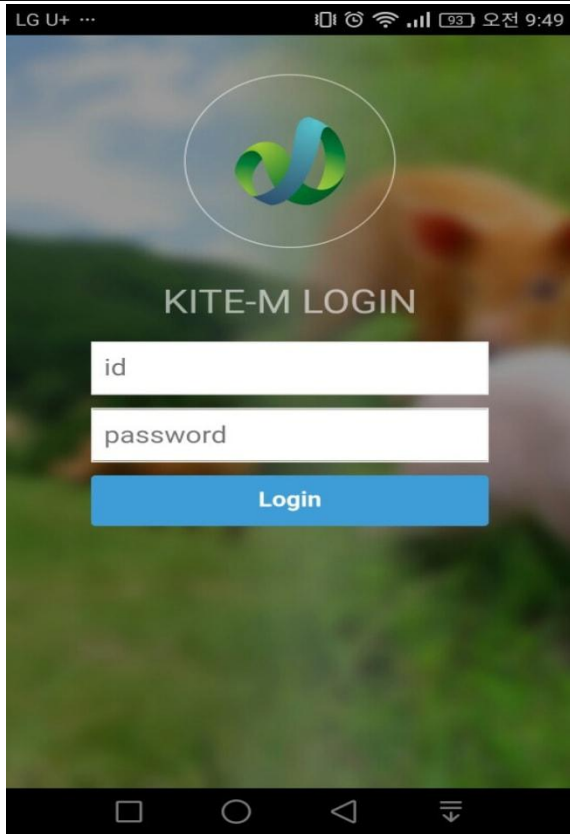


그림 244 로그인 화면(초기 화면)

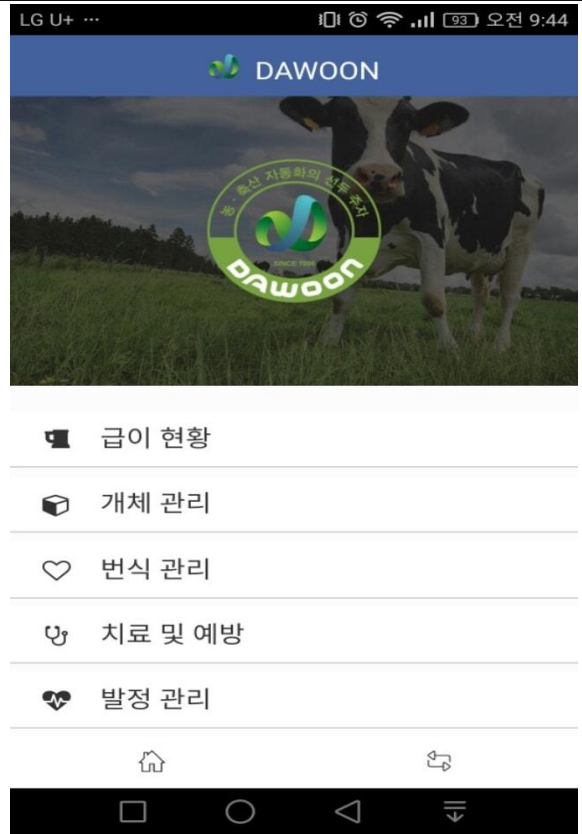


그림 245 진입화면 및 메뉴



그림 246 진입화면 및 상세 메뉴



그림 247 급이현황 모니터링

관제용 어플리케이션(모바일용) 화면



그림 248 급이현황 급이현황 상세 모니터링



그림 249 비정상 급이 사용자 알람

개체 관리

RFID: 1

이표: 9001

농장개체번호: 5248

성별: 수 암

그룹: 1

종류(등급): 한우

생년월일: 2016. 02. 21.

기기등록일: 2019. 01. 04.

그림 250 개체별 정보기록 관리

급이 목표설정

1사료(당일/최종): 2.00 0

2사료(당일/최종): 2.00 0

첨가제(당일/최종): 2 0

3사료(당일/최종): 0 0

첨가제(당일/최종): 0 0

증감시작일: 2019. 01. 04.

증감경과일

장비코드: 1

그림 251 개체별 급이량 설정 관리

관제용 어플리케이션(모바일용) 화면

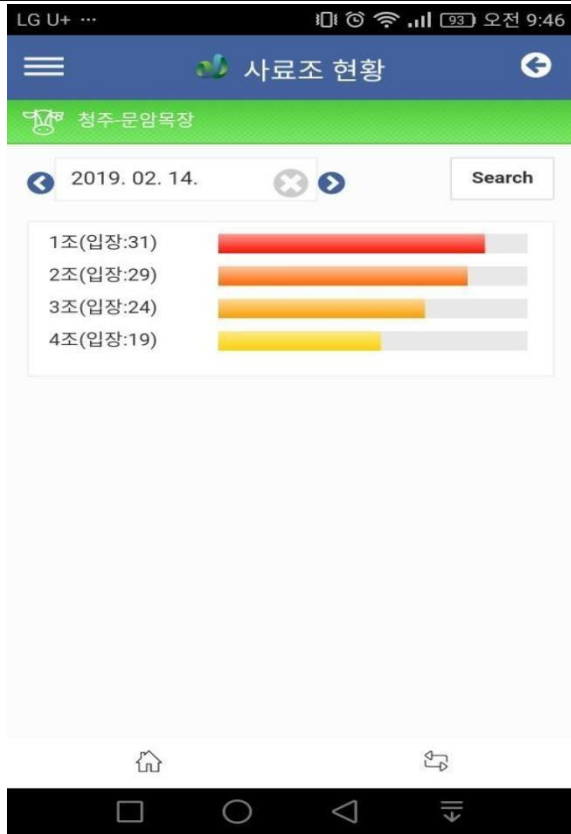


그림 252 자료조 입장 현황 모니터링

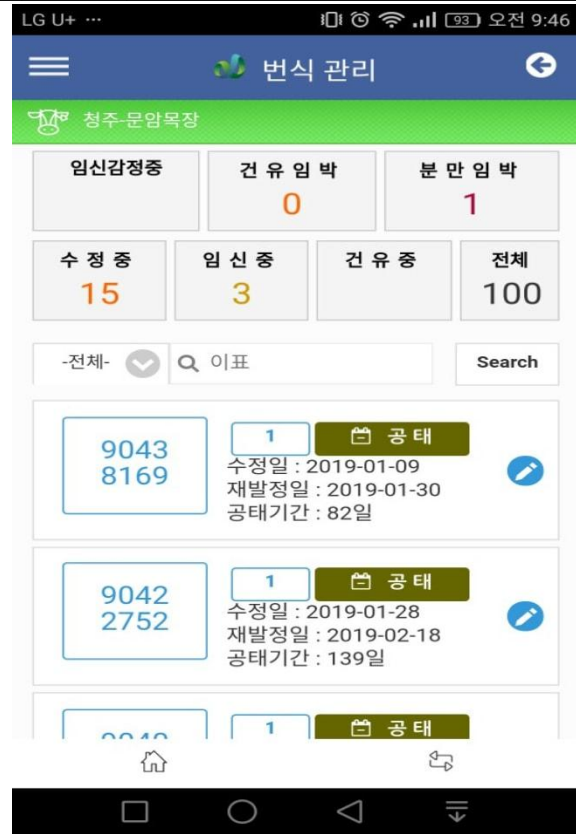


그림 253 번식 현황 제공



그림 254 개체별 번식정보 관리 기능

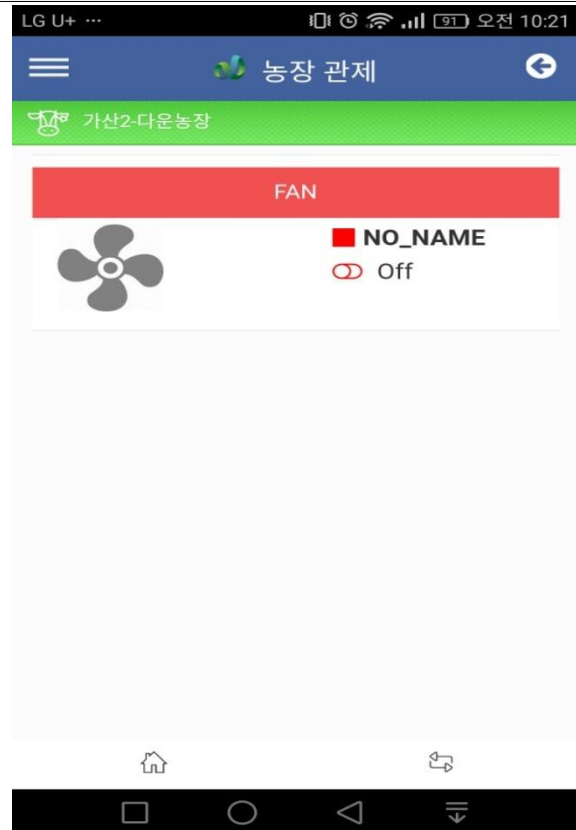


그림 255 환기팬 가동 및 중지 기능

관제용 어플리케이션(모바일용) 화면

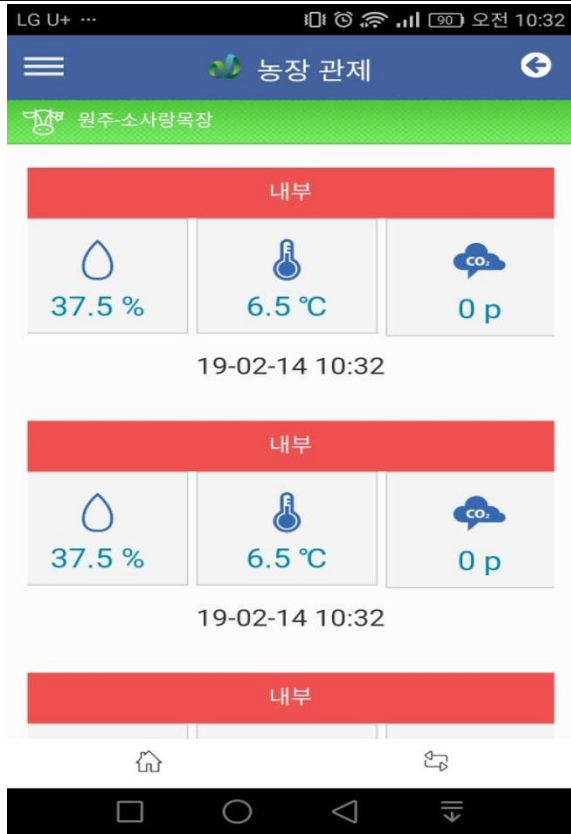


그림 256 환경정보 모니터링

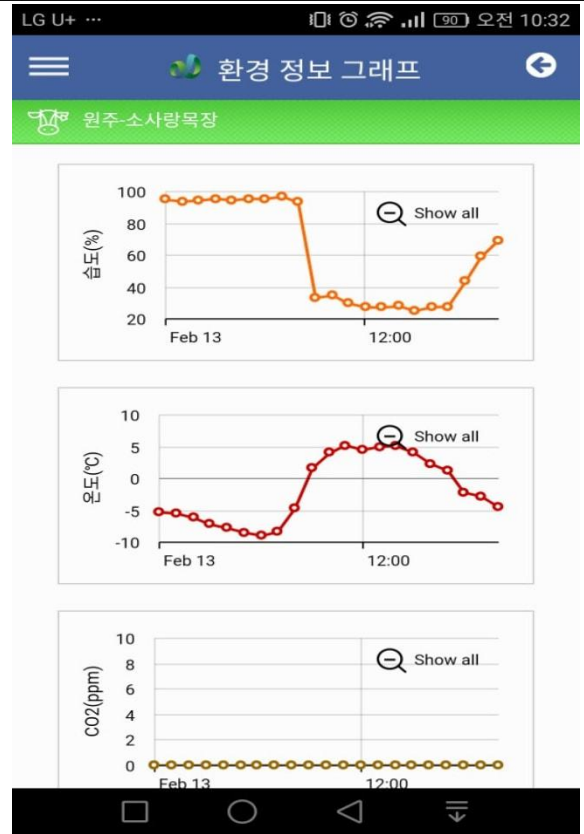


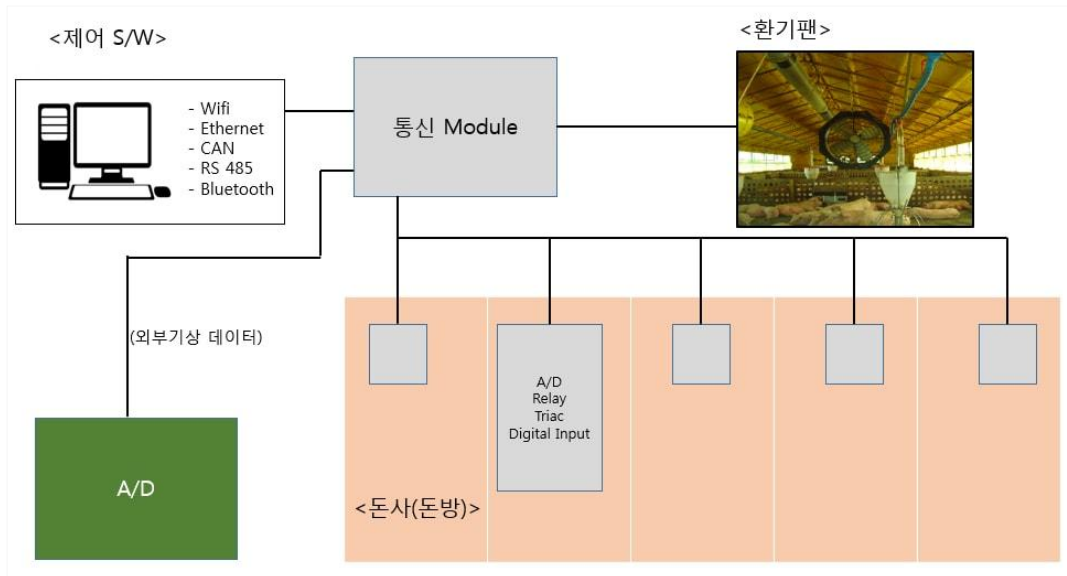
그림 257 환경정보 상세 모니터링

2장 연구수행 내용 및 결과 (2-2. 이지팜)

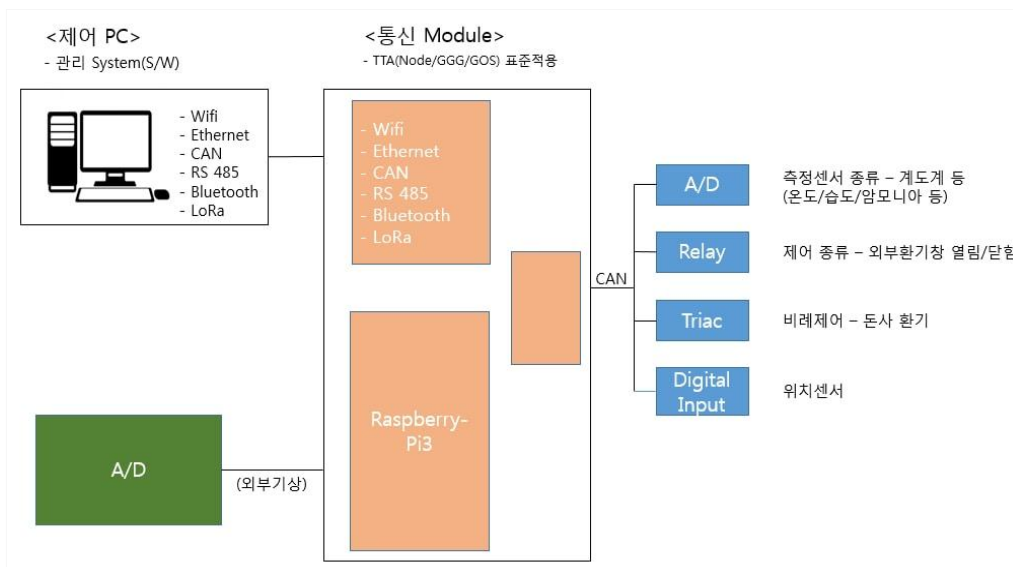
(1) 1년차 연구 수행 내용 및 결과

(가) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 설계

① 제어 시스템 구성 및 키트 구성도



<환기팬 제어 시스템 구성>

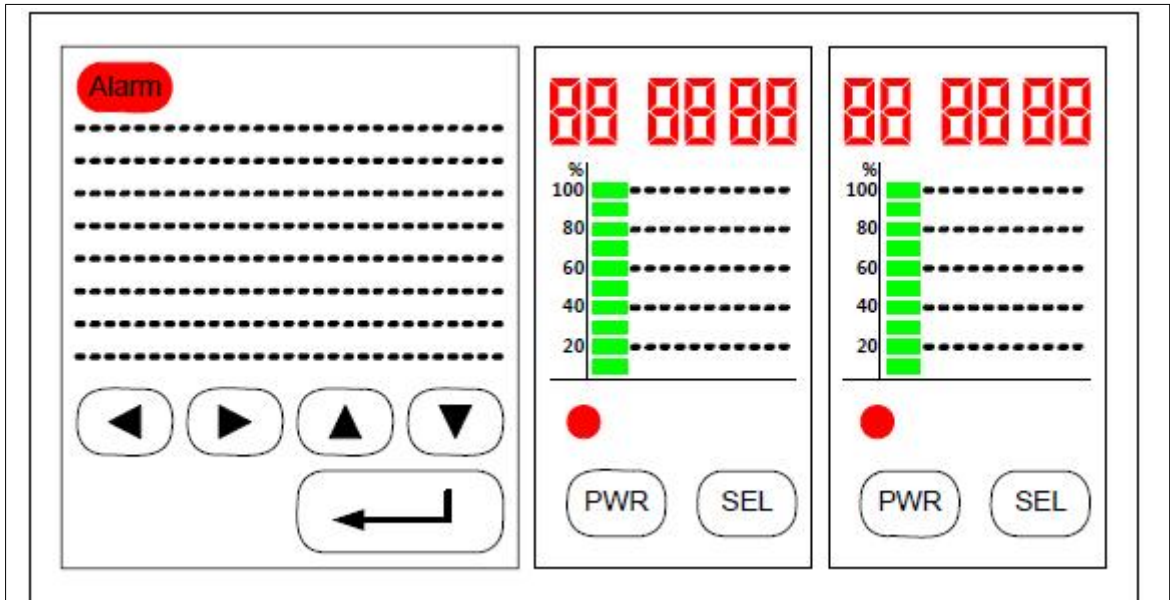


<환기 자동 제어키트 구성>

② 환기 자동 제어 키트 설계

㉠ 베이스보드 구성 - 3part로 구성

㉡ UI Board part



- Ch별 7'Sement Display 6digit - 3ch
- Level Display용 Bar-LED - 3ch
- Indicator LED 2 : Green x 1, Orange x 1
- Select/Power-on(Enable) Switch - 3ch
- 5 menu-key : up/down/left/right/enter
- TRIAC Port수와 연동

㉞ Base Board part

- Linear Power Supply
 - Digital & Analog Signal Power 5V(step Down 3.3V)
 - I/O Power 24V
 - Digital Power와 I/O Power 전원 분리
- Terminal Block 및 Controller/Comm. Connector
- Surge Protection
- 기타 내구성이 강한 부품 위주로 설계

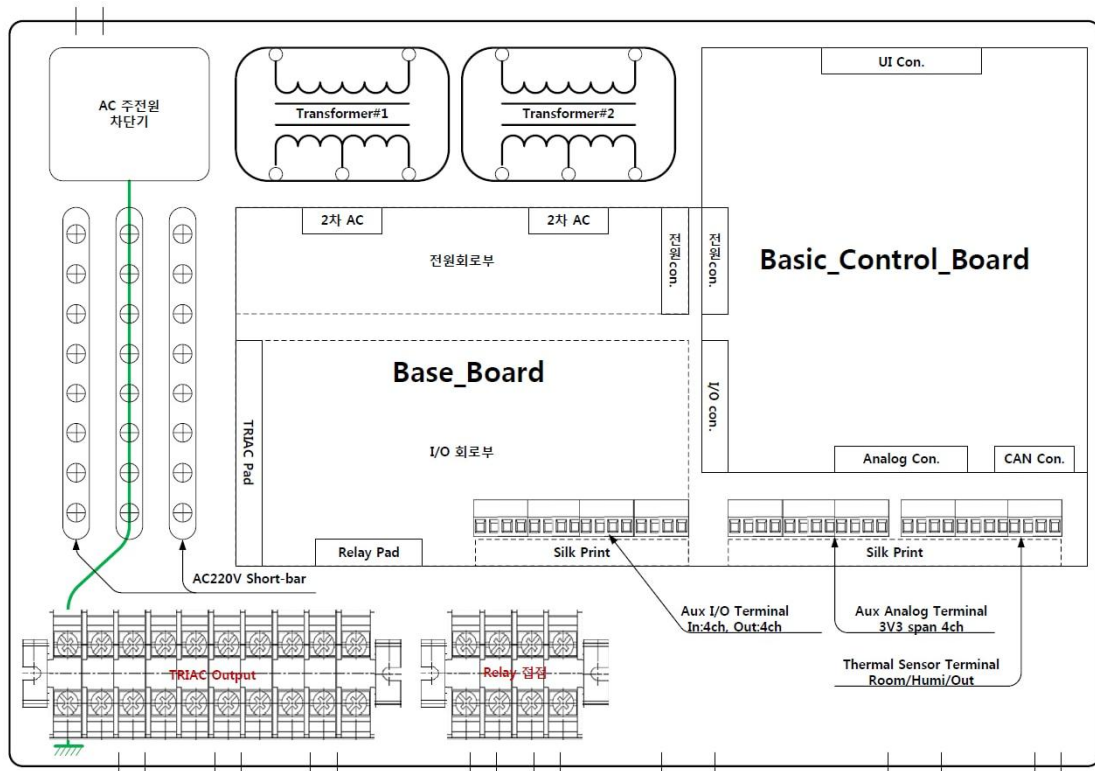
㉟ Controller Board part

- 제어를 위한 제반 회로 및 Analog Circuit, Firmware 탑재
- Base Board와 손쉽게 탈/장착이 가능한 구조로 설계한다.
- AC220V Dimming TRIAC Output : 3outs, 35A급
- AC220V On/Off Relay Output : 2outs, 10A
- 온/습도 및 외기온도 센서 : 써미스터에 의한 건기/습기 온도를 측정하여 온/습도를 산출할 수 있도록 설계
 - 센서별 3wire 방식
 - 측정온도 범위 : -20~50℃
 - 측정 정밀도 : 0.1℃ resolution, 측정 오차 ±0.3℃(10bit A/D converter)

- Real Time Clock(RTC) ***Timer
 - 전용 RTC Chip 사용 : Backup Battery
 - 56byte Backup memory : 중요 설정 값 Backup
 - 일정관리, 자동온도조절
- Alarm : F/W & S/W에 의하여 처리
- DC 24V Digital In/Out : MOSFET 4ports, In/Out 설정방식, 1A 기준
- Analog Input : 4ch ... 2.5V Span Unipolar, Non-Analog Circuit
- Buzzer 출력 : Keypad 신호음 발생
- 통신포트
 - Surge 및 낙뢰 보호회로 구비
 - Main : CAN 1port
 - Aux : UART 1port

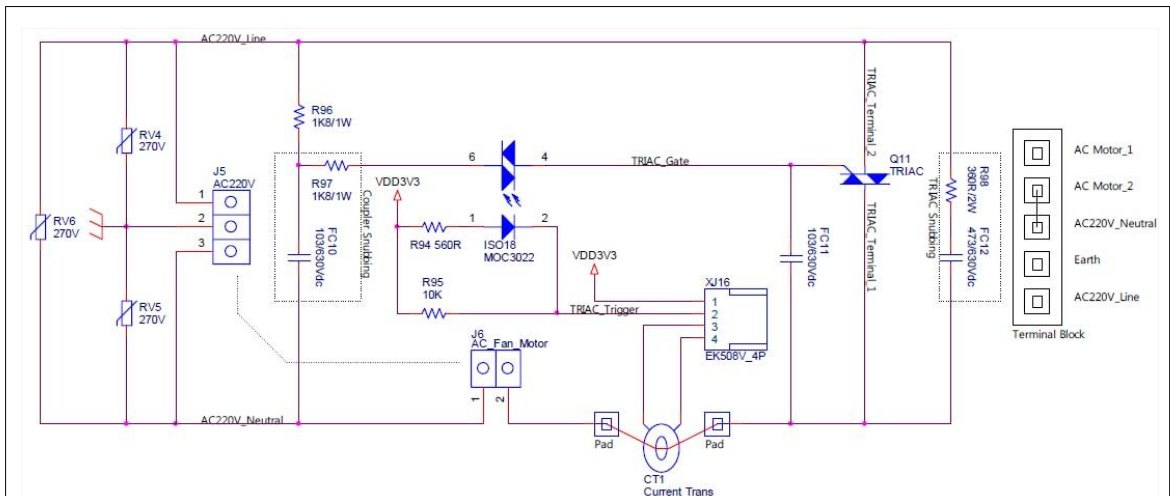
㉞ TRIAC 출력 구성

㉟ 전체 구성



<시스템 구성도>

㉔ TRIAC 출력 보드 모듈화

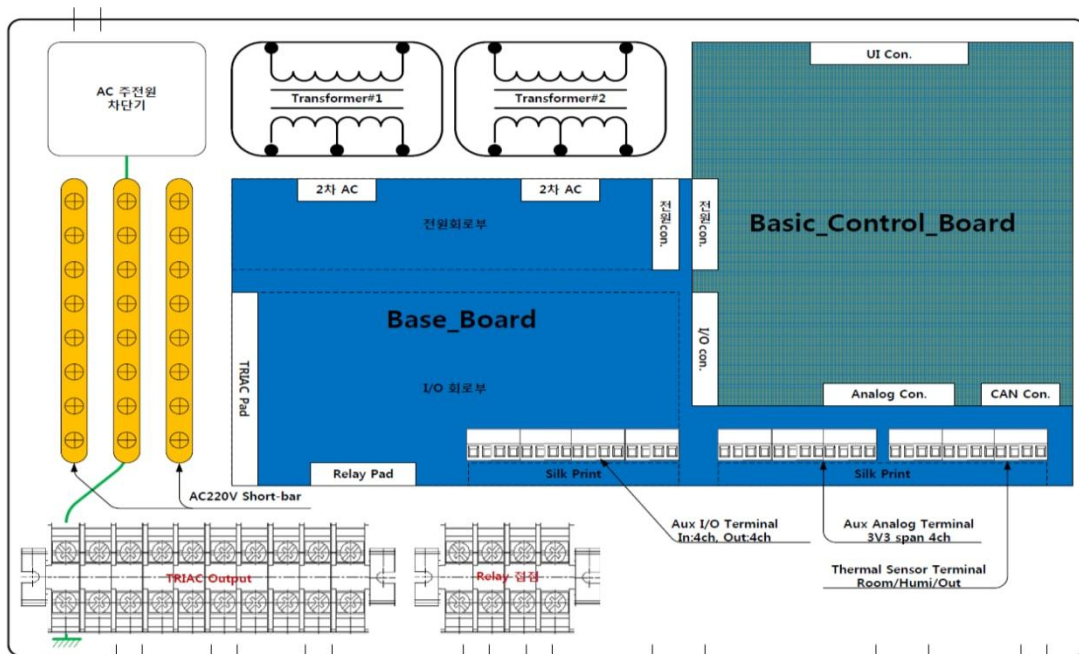


<TRIAC 구성도>

- 제품 구성에 있어 관리 용이(1/2/3포트용)
- TRIAC을 보드에 Mount 함으로써 배선(4선) 간소화
- Terminal Block의 간소화로 설치 공간 여유 확보
- Base Board 구성 간결

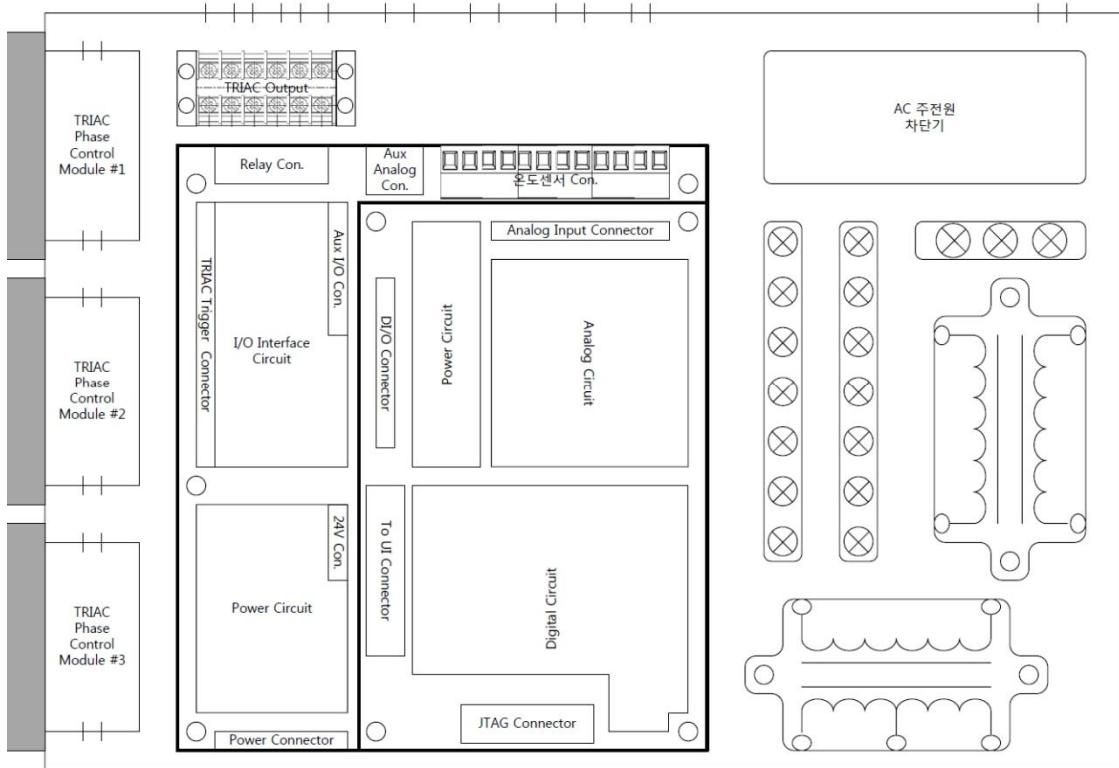
㉕ 키트 배치도

① 전체 배치도



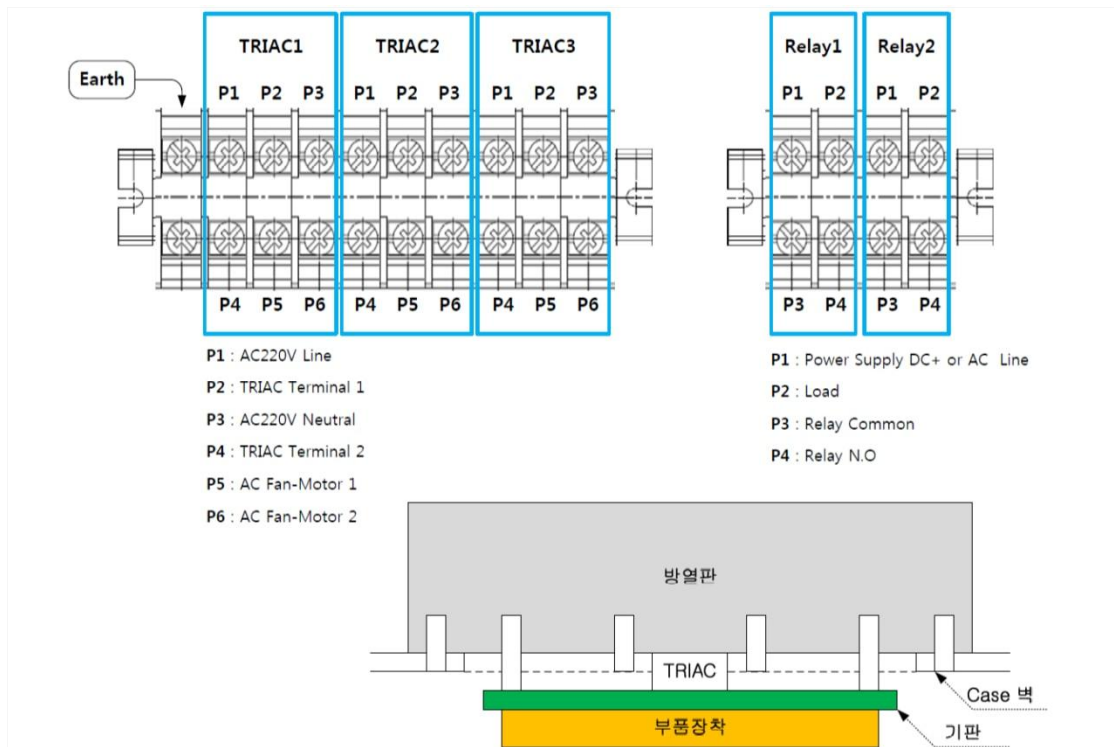
<전체 배치도>

㉞ 키트 상세 배치도



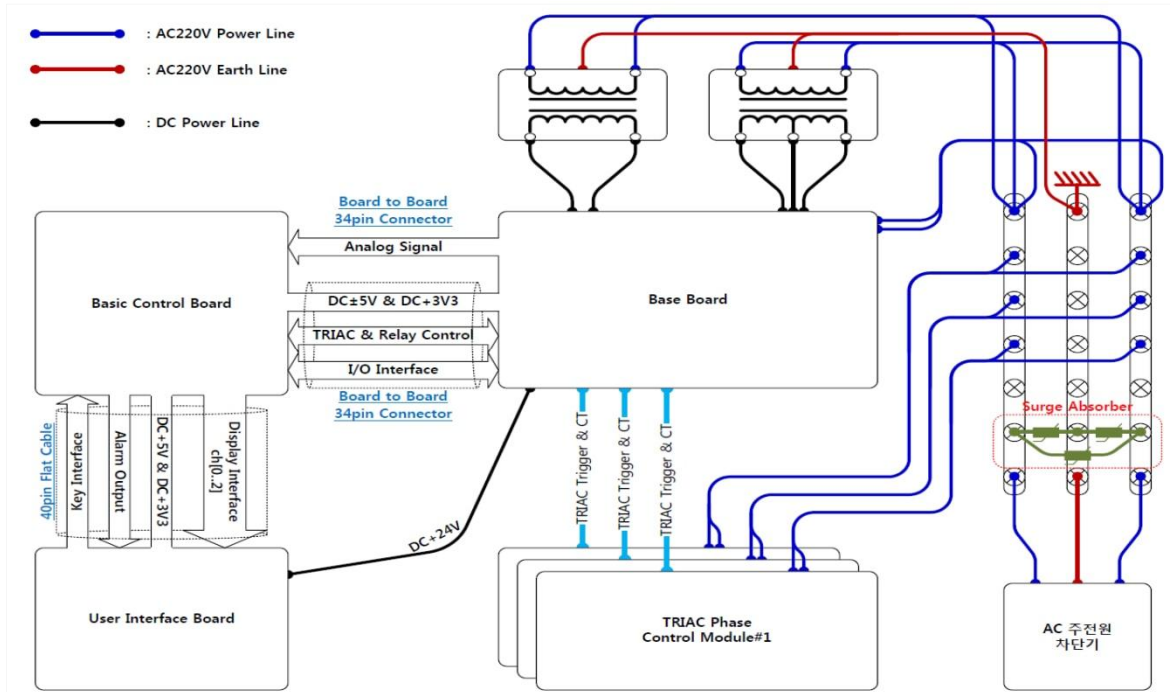
<키트 상세 배치도>

㉟ TRIAC 모듈 배치도



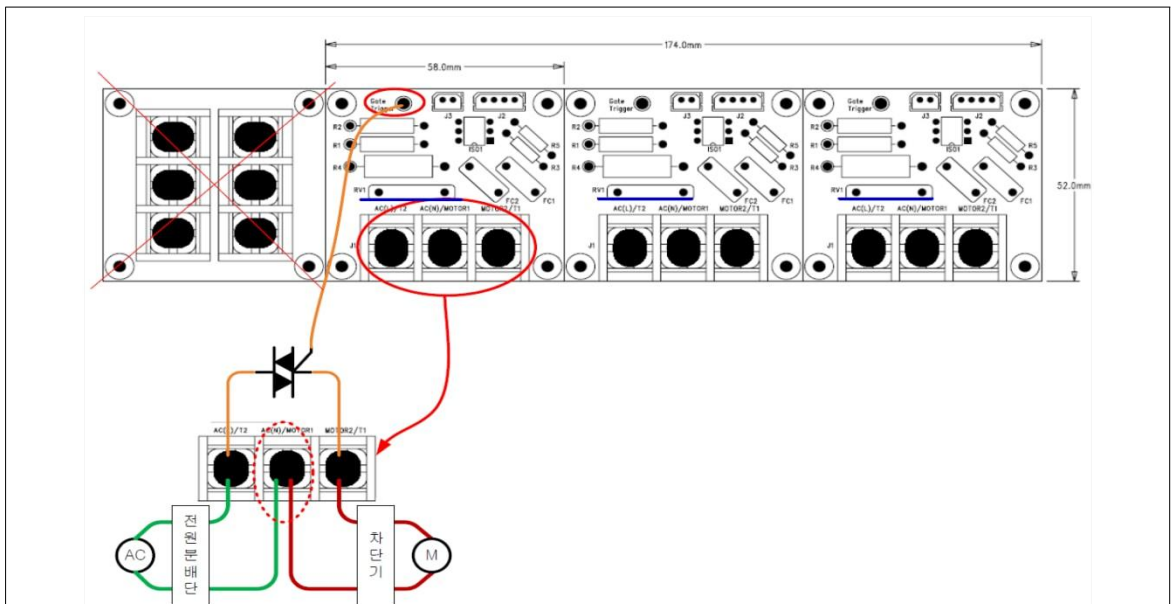
<TRIAC 모듈 배치도>

㉠ 각 보드 Interface 및 파워 배치도



<각 보드 Interface 및 파워 배치도>

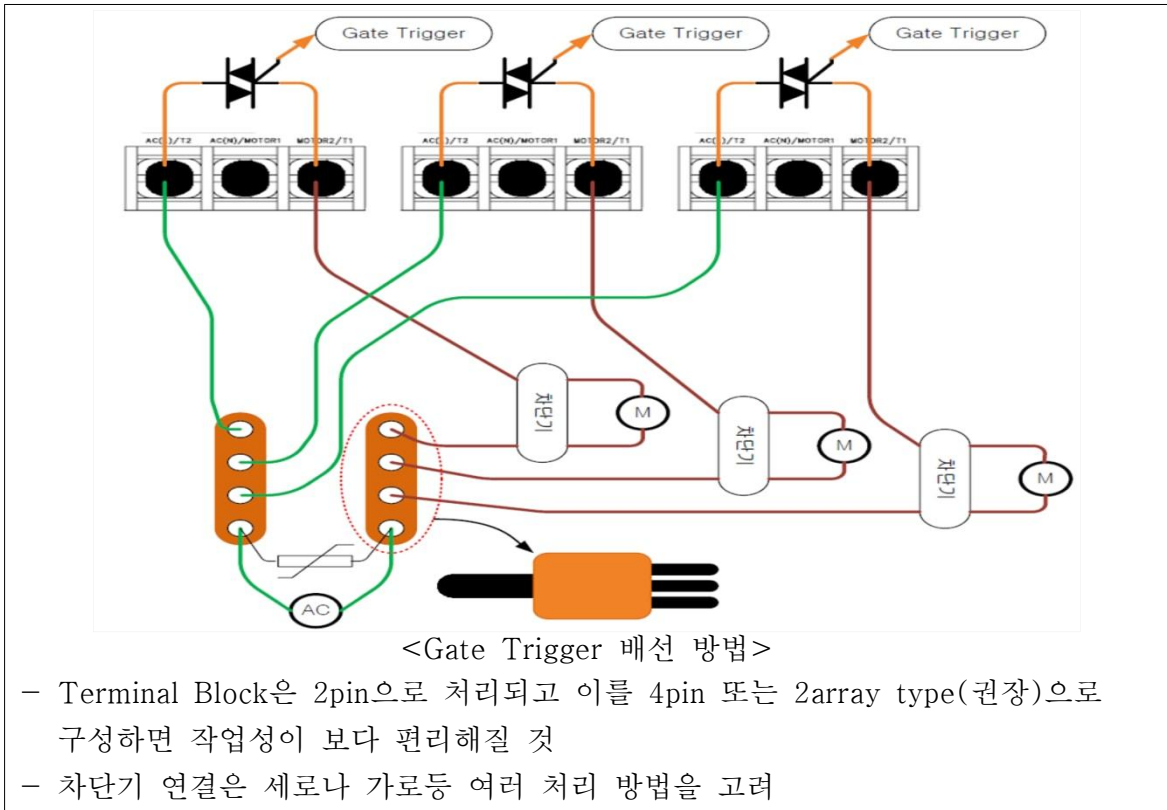
㉡ 키트 배선



<배선 방법>

- 위 그림 좌측의 AC전원을 연결하기 위한 Terminal Block은 전기적인 측면이나 작업성을 고려했을 때 효과적이지 못함
- 보드 외부에서 공통 접점을 잡는다면 점선으로 표시한 부분을 잡을 수 있는데, 이 때 쇼트바를 설치하여 구성한다면 전기적인 측면이나 작업성을 동시에 만족하는 구성을 가져갈 수 있음
- 다만, AC라인 서지-업서버(보드의 청색줄)는 개별설치 하지 않고 쇼트바에

㉞ Gate Trigger 배선

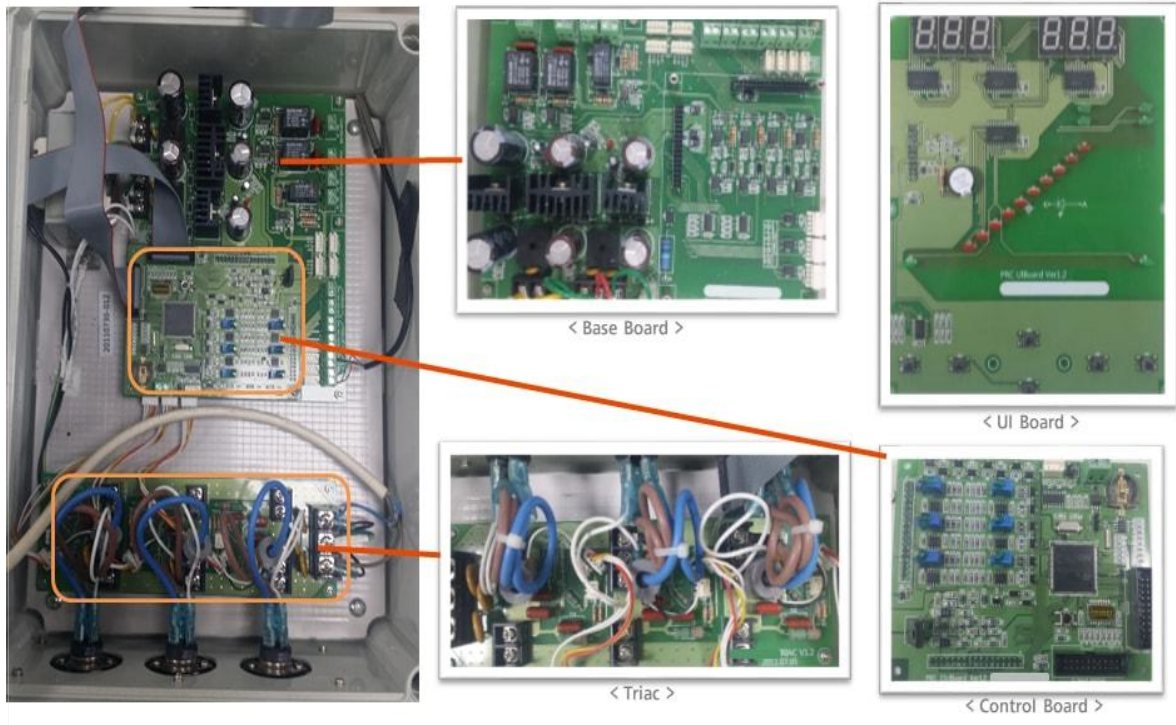


(나) 연구수행 결과

- ① ‘환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 설계’를 위해 연구에 필요한 자료를 분석 조사하고 양돈 농장 및 육계농장 현장 인터뷰를 통해 환기팬 자동 제어 시스템 설계를 진행
- ② 환경 정보 수집 제어 부분 설계는 주변 환경 요소(외기)를 참조하여 흡·배기를 조절 가능하도록 하여 에너지 절감형으로 설계를 진행
- ③ 보드 설계는 크게 3part으로 구성하여 UI-Board, Base Board, Controller Board로 구성하였으며 각 보드 설계 시 내구성이 강한 부품 위주로 설계를 진행하였으며 Controller Board 에는 제어를 위한 제반 회로 및 Analog Circuit, Firmware를 탑재 하였음
- ④ Base Board는 손쉽게 탈/장착이 가능한 구조 이며 센서는 써미스터에 의한 건기/습기 온도를 측정하여 온/습도를 산출할 수 있도록 진행하였다. 또한 통신 포트에는 Surge 및 낙뢰 보호회로 구비로 낙뢰로부터 안전할 수 있도록 하였음
- ⑤ TRIAC출력 구성, 키트 배선방법, 키트 배치도 등으로 하드웨어 설계를 진행하였고, 키트 메뉴를 설계하여 향후 환기팬 자동 제어가 가능 하도록 하였음

(2) 2년차 연구 수행 내용 및 결과

(가) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 개발



<환기팬 자동 제어 시스템 구성>

① 환기팬 자동 제어 장치 개발

㉠ UI-Board

- Ch별 7'Sement Display 6digit - 3ch
- Level Display용 Bar-LED - 3ch
- Indicator LED 2 : Green x 1, Orange x 1
- Select/Power-on(Enable) Switch - 3ch
- 5 menu-key : up/down/left/right/enter
- "A~D"는 TRIAC Port수와 연동

㉔ Base-Board



- Linear Power Supply
 - Digital & Analog Signal Power 5V(step Down 3.3V)
 - I/O Power 24V
 - Digital Power와 I/O Power 전원 분리
- Terminal Block 및 Controller/Comm Connector
- Surge Protection
- 기타 내구성이 강한 부품 위주로 설계

㉕ Controller Board



- 제어를 위한 제반 회로 및 Analog Circuit Firmware 탑재

- Base Board와 손쉽게 탈/장착이 가능한 구조로 설계
- AC220V Dimming TRIAC Output : 3outs, 35A급
- AC220V On/Off Relay Output : 2outs, 10A
- 온/습도 및 외기온도 센서 : 써미스터를 의한 건기/습기 온도를 측정하여 온/습도를 산출할 수 있도록 설계
 - 센서별 3wire 방식
 - 측정온도 범위 : -20~50℃
 - 측정 정밀도 : 0.1℃ resolution, 측정 오차 ±0.3℃(10bit A/D converter)
- Real Time Clock(RTC) ***Timer
 - 전용 RTC Chip 사용 : Backup Battery
 - 56byte Backup memory : 중요 설정 값 Backup
 - 일정관리, 자동온도조절, 사용유무입력 등
- DC 24V Digital In/Out : MOSFET 4ports, In/Out 설정방식, 1A 기준
- Analog Input : 4ch ... 2.5V Span Unipolar, Non-Analog Circuit
- Alarm(Buzzer 출력) : Keypad 신호음 발생

② 환기팬 자동 제어 장치 H/W 사양

분 류	내 용	
전원	시스템	AC220V@1A, 60Hz
	제어출력	AC220V@40A, 60Hz(total output volume)
표시부	7'Segment LED	6digits(3digits + 3digits)
	Level Display	10 LEDs
	Status Indicator	6 LEDs
입력장치	6 keypad	Enter key, ESC/Select key, Menu 이동 키 2keys, +/- (증가/감소) 2keys
	Device ID Setting	8bits ID(CAN_ID 하위 8bits)
출력장치	AC220V 15A Phase-Control TRIAC Output	3channels
	AC220V 3A NO(Normal Open) Relay 접점	2channels
	TRIAC Output Detection	3ch, 각 channel 별
	Zero-cross-detection	Phase-Control, Relay on/off
Sensor Interface	4-wire 방식 NTC Thermistor(3kΩ) Interface	3channels (실온센서, 습구센서, 외기센서)

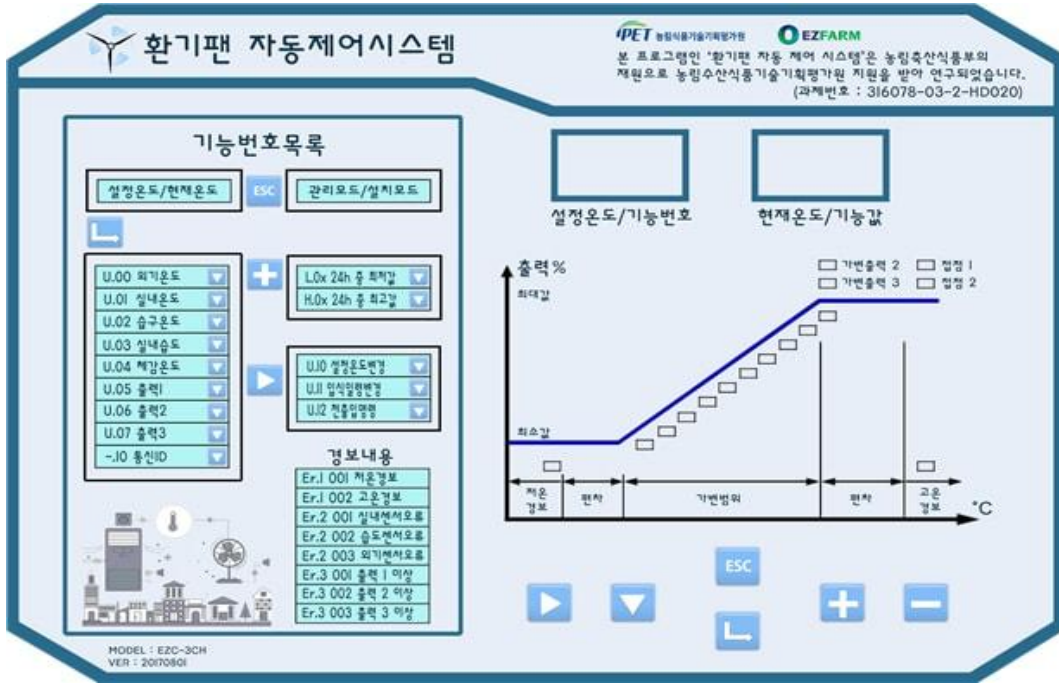
	측정온도 범위	-20~50℃
	측정오차	±0.3℃
통신포트	CAN 2.0B(Standard identifiers 11bits) Interface	
Real Time Clock(RTC) Interface	Backup Battery	
	56bytes Application Data Backup memory(이하 “설정메모리”)	
시스템 경보 출력	Pulse Relay NO 2점점, 동시 동작	
Aux In/Output	Isolation 24V Digital Input	4channels
	Isolation 24V Digital Output	4channels
	현재 S/W를 지원하지 않는다.	
보조 통신포트	UART 1port	9600bps, 8bits Data, 1stop bit, non-parity
	현재 S/W를 지원하지 않는다	
기타	Buzzer 신호음 발생	

③ 환기 제어기 엔탈피 제어 온도 변환 계산식

온도	엔탈피	상대습도 65% 기준		계산온도	
		식1 LOG(B/15)*42.6	식2 (1.19*(C3-25)*(C3-25)-10)/120	식1 + 식2	계산편차
1	7.36	- 13.17	14.36	1.20	- 0.20
2	8.85	- 9.77	11.90	2.14	- 0.14
3	10.67	- 6.31	9.64	3.33	- 0.33
4	12.26	- 3.73	8.10	4.37	- 0.37
5	13.92	- 1.39	6.82	5.43	- 0.43
6	15.57	0.69	5.78	6.47	- 0.47
7	17.22	2.55	4.91	7.47	- 0.47
8	18.87	4.25	4.19	8.44	- 0.44
9	20.52	5.80	3.57	9.37	- 0.37
10	22.18	7.23	3.05	10.28	- 0.28
40	120.22	38.51	1.73	40.23	- 0.23
41	125.32	39.27	1.94	41.21	- 0.21
42	130.52	40.03	2.16	42.18	- 0.18
43	135.73	40.75	2.38	43.13	- 0.13
44	140.93	41.45	2.60	44.05	- 0.05
45	146.14	42.12	2.82	44.94	0.06
46	151.35	42.77	3.05	45.81	0.19
47	156.55	43.39	3.27	46.66	0.34
48	161.76	44.00	3.50	47.49	0.51
49	166.96	44.58	3.72	48.30	0.70
50	172.17	45.15	3.94	49.09	0.91

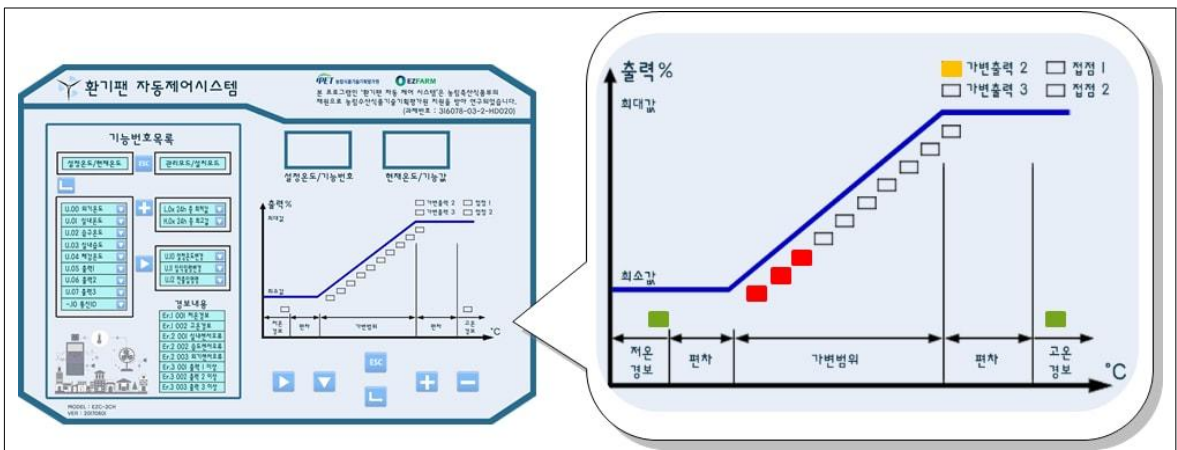
④ 환기팬 자동 제어기 사용방법

㉠ 환기팬 자동제어 시스템 표시부 구성



<환기팬 자동제어 시스템 표시부 구성>





㉡ 표시부 : 설정온도/현재온도, 현재 팬의 출력(%), 저온/고온 경보



- ■ : 가변출력은 팬의 출력, 접점은 Relay의 출력을 나타냅니다.
 - ■ : 팬의 출력은 %로 나타내며 출력단위는 10(%)입니다.
 - ■ : 저온/고온에 대한 경보를 나타냅니다
- * 구별을 위해 별도의 색으로 표시, 실제 표시부는 동일한 색으로 표시됩니다.

㉢ 조작키 : 제어기를 조작하기 위해 필요키

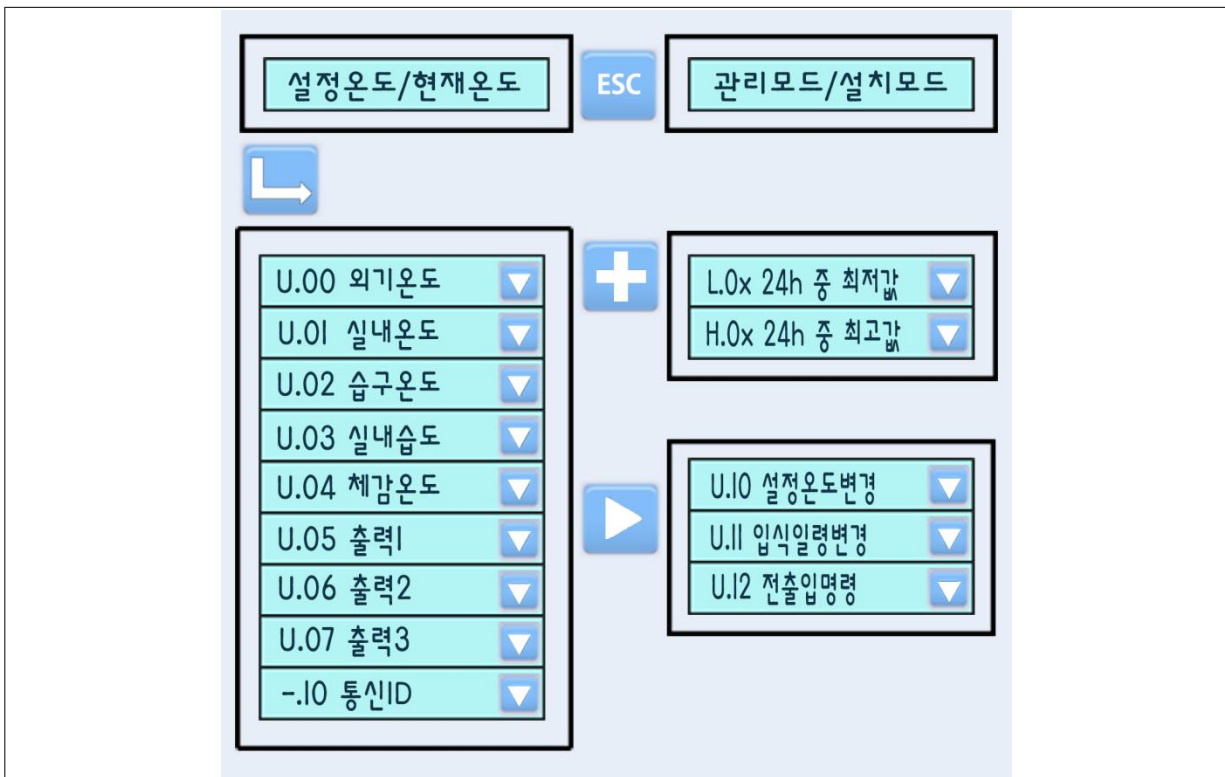
- ESC : 모드 선택 또는 취소
- ▶ : 화면 이동









-  : 아래로 이동 (마지막 항목에서 선택 시 다시 처음으로 이동)
-  : 길게 누를 경우 + , - 값을 입력할 입력모드로 전환
-  ,  : 상세 값 증가, 감소.

㉔ 기능목록 : EZC-3CH 모델에서 제공하는 모드는 총 3가지(작업자, 관리, 설치모드)

㉕ 모드별 기능 관리

㉖ 작업자 모드 : 농장의 작업자가 이용하는 모드이며 설정된 제어요소에 따른 단순 운용모드



- 정상 동작모드에서  눌러주세요
(기능번호와 현재 제어되는 동작값을 확인)
- 보고자하는 기능번호가 표시될 때까지  눌러 이동합니다
(설정값을 확인할 경우,  눌러 확인)
- 설정값을 변경하고자 할 때에는.  눌러 화면을 전환하고  눌러주세요
-  ,  를 사용하여 제어값을 변경
- 변경된 값으로 운영하기 위해  눌러주세요

㉔ 관리 모드 : 농장에 설치된 제어 장비의 제어요소를 설정하는 관리모드

설정온도/현재온도

ESC 를 888 888표시까지 길게 누른다.
SEL. 0을 선택한다.
P 표시시 비밀번호 >>> 을 누른다.

o.14 T1 설정온도 ▼
o.15 T1 가변범위 ▼
o.16 T1 최소출력 ▼
o.17 T1 최대출력 ▼

o.24 T2 설정온도 ▼
o.25 T2 가변범위 ▼
o.26 T2 최소출력 ▼
o.27 T2 최대출력 ▼

o.34 T3 설정온도 ▼
o.35 T3 가변범위 ▼
o.36 T3 최소출력 ▼
o.37 T3 최대출력 ▼

o.60 경보사용유무 ▼
o.61 저온경보온도 ▼
o.62 고온경보온도 ▼

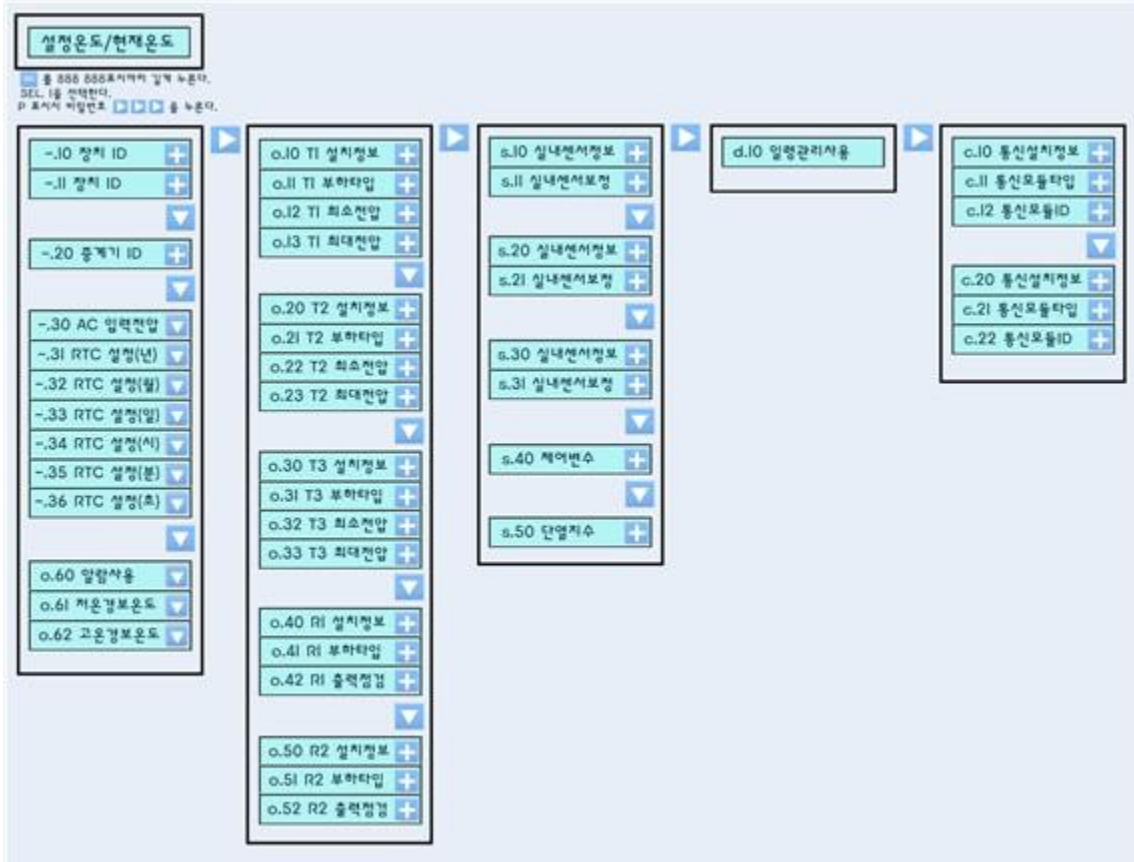
o.53 R2 설정온도 ▼
o.54 R2 온도편차 ▼

o.43 RI 설정온도 ▼
o.44 RI 온도편차 ▼

d.11 입식초기온도 ▼
d.12 온도변경날짜 ▼
d.13 입식중기온도 ▼
d.14 온도변경날짜 ▼
d.15 입식후기온도 ▼

- i. ESC 누른 후 'SEL 0' 으로 변경 합니다.
- ii. ↵ 눌러주세요
- iii. 'P' 표시되면 비밀번호 >>> 누른 후, ↵ 눌러주세요
- iv. 화면 전환을 위해 > 눌러주세요. (각 그림의 첫번째 기능번호가 표시됩니다.)
+ 을 눌러서 아래로 이동합니다.
▼ 누르면 설정하고자 하는 상세기능으로 화면을 이동합니다.
- v. 설정하고자 하는 기능이 표시되면, ↵ 를 눌러주세요
- vi. + , - 를 사용하여 제어값을 변경합니다
- vii. ↵ 눌러주세요. (변경된 제어값이 적용됩니다.)

㉔ 설치 모드 : 농장에 설치된 제어 장비의 설치요소를 설정하는 설치모드



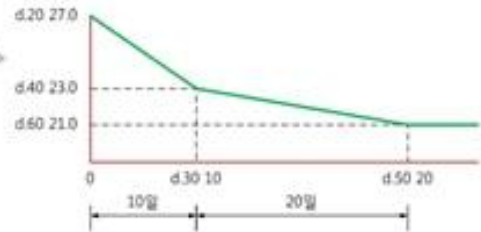
- i. **ESC** 누른 후 'SEL 1' 으로 변경 합니다.
- ii. **↵** 눌러주세요
- iii. 'P' 표시되면 비밀번호 **▶ ▶ ▶** 누른 후, **↵** 눌러주세요
- iv. 화면 전환을 위해 **▶** 눌러주세요. (각 그림의 첫번째 기능번호가 표시됩니다.)
+ 을 눌러서 아래로 이동합니다.
▼ 누르면 설정하고자 하는 상세기능으로 화면을 이동합니다.
- v. 설정하고자 하는 기능이 표시되면, **↵** 를 눌러주세요
- vi. **+** , **-** 를 사용하여 제어값을 변경합니다
- vii. **↵** 눌러주세요. (변경된 제어값이 적용됩니다.)

㉔ 주요 기능

㉔ 일령관리

Setting Parameter	범위
d.10 일령관리사용	0(미사용), 1(사용)
d.11 입식초기온도	10.0 ~ 35.5
d.12 온도변경날자	0~255
d.13 입식중기온도	10.0 ~ 35.5
d.14 온도변경날자	0~255
d.15 입식후기온도	10.0 ~ 35.5
U.11 입식일령변경	
U.12 전출입명령	

d.10 일령관리사용 : 1(사용)
 d.11 입식초기온도 : 27℃
 d.12 입식초기관리일령 : 10일
 d.13 입식중기온도 : 23℃
 d.14 입식중기관리일령 : 20일
 d.15 입식후기온도 : 21℃



㉔ 온도경보

Setting Parameter	범위	초기설정	비고
o.60 사용설정	0(미사용), 1(사용)	1	
o.61 저온경보	10.0 ~ 35.5	15	단위 : ℃
o.62 고온경보	10.0 ~ 35.5	32	단위 : ℃

㉔ 시스템 설정

Setting Parameter	범위	초기설정	비고
_.10 장치 ID,	0~255	0	CAN 통신 ID
_.20 중계기 ID	0~255	0	사용하지 않음
_.30 AC 입력전압	0~255	220	단위 : Vac
_.31 RTC 설정	년(01~99)	17	시스템 날짜 설정
_.32 RTC 설정	월(01~12)	1	
_.33 RTC 설정	일(01~31)	1	
_.34 RTC 설정	시(00~23)	1	
_.35 RTC 설정	분(00~59)	0	
_.36 RTC 설정	초(00~59)	0	

㉔ 출력단자 설정

분류	Setting Parameter	범위	초기설정	비고	
1 번 TRIAC Setting	o.10 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1		
	o.11 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0		
	o.12 부하타입	0 (음 (-) 부하:Fan)	0		
		1(양(+))부하:Heater)			
	o.13 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최소출력전압	
	o.14 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최대출력전압	
	F.10 현재출력			단위 : %	
	F.11 기준값 설정(T _{set})	10.0 ~ 35.5	23	단위 : ℃, TRIAC00	
	F.12 가변값 범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : ℃	
	F.13 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최소출력	
	F.14 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최대출력	
2 번 TRIAC Setting	o.20 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1		
	o.21 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0		
	o.22 부하타입	0 (음 (-) 부하:Fan)	0		
		1(양(+))부하:Heater)			
	o.23 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최소출력전압	
	o.24 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최대출력전압	
	F.20 현재출력			단위 : %	
	F.21 설정값 편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	3.0(26.0) /6.0(29.0)	단위 : ℃, TRIAC01/TRIAC02	
	F.22 가변값 범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : ℃	
F.23 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최소출력		
F.24 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최대출력		
3 번 TRIAC Setting	o.30 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1		

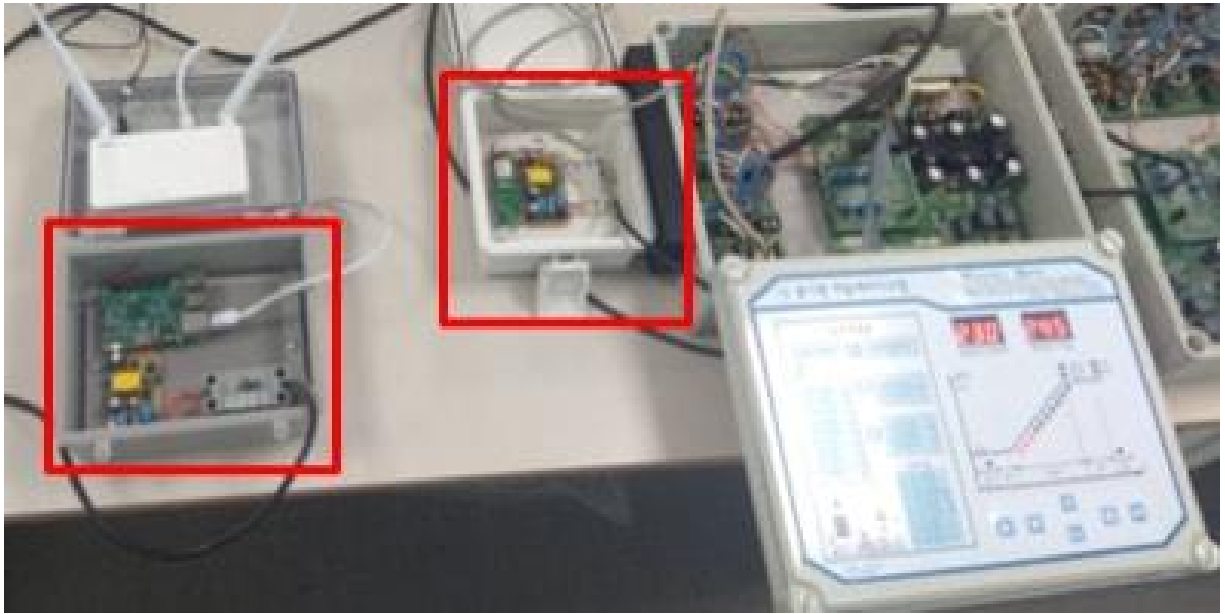
	o.31 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.32 부하타입	0 (음 (-) 부하:Fan)	0	
		1(양(+))부하:Heater)		
	o.33 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최소출력전압
	o.34 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최대출력전압
	F.30 현재출력			단위 : %
	F.31 설정값 편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	3.0(26.0) /6.0(29.0)	단위 : $^{\circ}\text{C}$, TRIAC01/TRIAC02
	F.32 가변값 범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : $^{\circ}\text{C}$
	F.33 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최소출력
	F.34 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최대출력
1 번 Relay Setting	o.40 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.41 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.42 부하타입	0 (음 (-) 부하:Fan)	0	
		1(양(+))부하:Heater)		
	o.43 출력테스트	0(off), 1(on)	0	test only
	F.41 기준값 설정(Δt)	10.0 ~ 35.5	23	단위 : $^{\circ}\text{C}$, RELAY00
	F.42 동작값 편차(Δt)	0.0 ~ 12.7	1	단위 : $^{\circ}\text{C}$
2 번 Relay Setting	o.50 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.51 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.52 부하타입	0 (음 (-) 부하:Fan)	0	
		1(양(+))부하:Heater)		
	o.53 출력테스트	0(off), 1(on)	0	test only
	F.51 설정값 편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	2.0(25.0) /3.0(26.0)	단위 : $^{\circ}\text{C}$, RELAY00/RELAY01
	F.52 동작값 편차(Δt)	0.0 ~ 12.7	1	단위 : $^{\circ}\text{C}$

㉔ 오류 메시지 : 동작오류 발생시 표시부에 LED Indicator가 점멸하고 오류메시지를 표시

※ 별도 정의된 경보 없을 때, "Err. no"로 표시

N	nn	내용
0 (시스템/ 통신오류)	1	시스템 시작이 정상적으로 이루어 지지 않았을 경우발생 한다. (예, 설정값 로드 오류)
	2	CAN 통신 오류
	4	일령 오류, RTC 가 비정상적으로 설정되거나 관련설정 값이 잘못되었을 경우 발생한다.
	3(1+2)	시스템 오류 + CAN 통신 오류
	5(1+4)	시스템 오류 + 일령 오류
	6(2+4)	CAN 통신 오류 + 일령 오류
	7(1+2+4)	시스템 오류 + CAN 통신 오류 + 일령 오류
1 (온도경보)	1	저온경보 발생
	2	고온경보 발생
2 (센서오류)	1	내기온도센서 오류
	2	습기온도센서 오류
	4	외기온도센서 오류
	3(1+2)	내기온도센서 오류 + 습기온도센서 오류
	5(1+4)	내기온도센서 오류 + 외기온도센서 오류
	6(2+4)	습기온도센서 오류 + 외기온도센서 오류
	7(1+2+4)	내기온도센서 오류 + 습기온도센서 오류 + 외기온도센서 오류
3 (Triac 출력오류)	1	TRIAC00 출력 오류
	2	TRIAC01 출력 오류
	4	TRIAC02 출력 오류
	3(1+2)	TRIAC00 출력 오류 + TRIAC01 출력 오류
	5(1+4)	TRIAC00 출력 오류 + TRIAC02 출력 오류
	6(2+4)	TRIAC01 출력 오류 + TRIAC02 출력 오류
	7(1+2+4)	TRIAC00 출력 오류 + TRIAC01 출력 오류 + TRIAC02 출력 오류

(나) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발



<환기팬 자동 제어 장치 및 다중 송수신장치>

① 다중 데이터 송수신 통신 모듈 S/W 개발

구분	기능	상세기능
User Interface	운영시스템 프로세스	UI를 통한 사용자 운영시스템 프로세스 제공, 통합 제어 프로세스와 TTA Part.3 표준으로 통신
Util(utility function)	통합제어 프로세스	통합제어를 위한 알고리즘을 처리하는 프로세스
Data manager (mysql adapter)		
Base(message format)		
Process(callbackfunctions)		
Algorithm		

② 다중 데이터 송수신 통신 모듈 H/W 개발



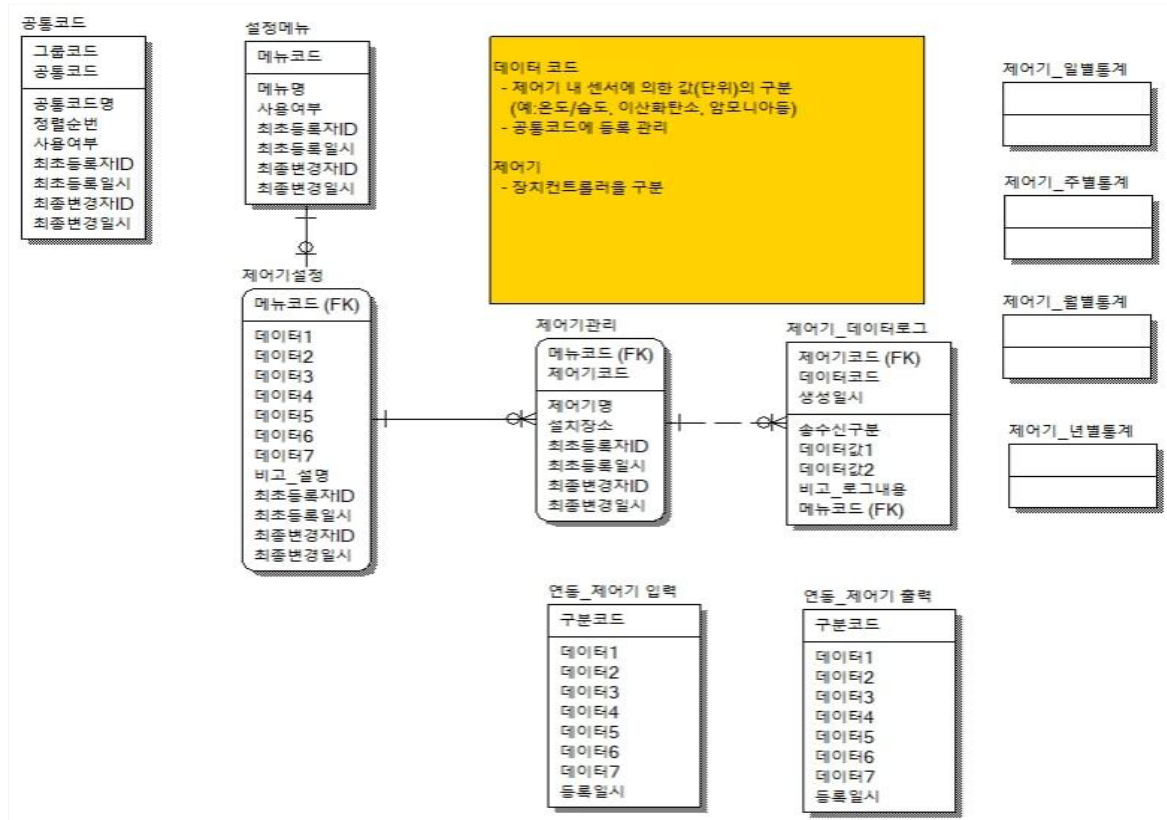
<다중 데이터 송수신 통신 모듈 구성품>

구성	사양
Raspberry Pi 3, model B	<ul style="list-style-type: none"> - Soc : Broadcom BCM2837 - CPU : 4X ARM Cortex-A53, 1.2GHz - Memory : 1GB LPDDR2 (900 MHz) - Network : 10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n wireless - Bluetooth : Bluetooth 4.1 Classic
JSN270_dongle Serial to WiFi module	<ul style="list-style-type: none"> - interface : RS485 - UART : 1200~921600bps(default 9600bps) - Supply Voltage : DC 4.5V ~ 5.5V - Dimension : 85 X 31 X 14mm - Power Consumption : Typ. 100mA@operaion, Max. 500mA@continous tx - protocol : ARP, UDP, TCP, ICMP, DHCP server, DHCP client, HTTP
Iodus hq-1505f adapter	<ul style="list-style-type: none"> - output volt : 5V - output Current(A) : 3A - Watt(Max) : 15
차단기 KIE-32Lb	<ul style="list-style-type: none"> - 프레임 크기 : 15AF - 정격전압 : 200V - 정격전류 : 15A - 사이즈 : 32 X 37 X 70mm
ipTIME N2plus-i	<ul style="list-style-type: none"> - CPU : single core, 400MHz - RAM ; 16MB - 연결단자 : Wan 1 / Lan 4 port - 무선 채널 : single band, 2.4GHz - 안테나 수(감도) : 2 e/a (5dBi) - 크기 : 134 X 76 X 24 mm

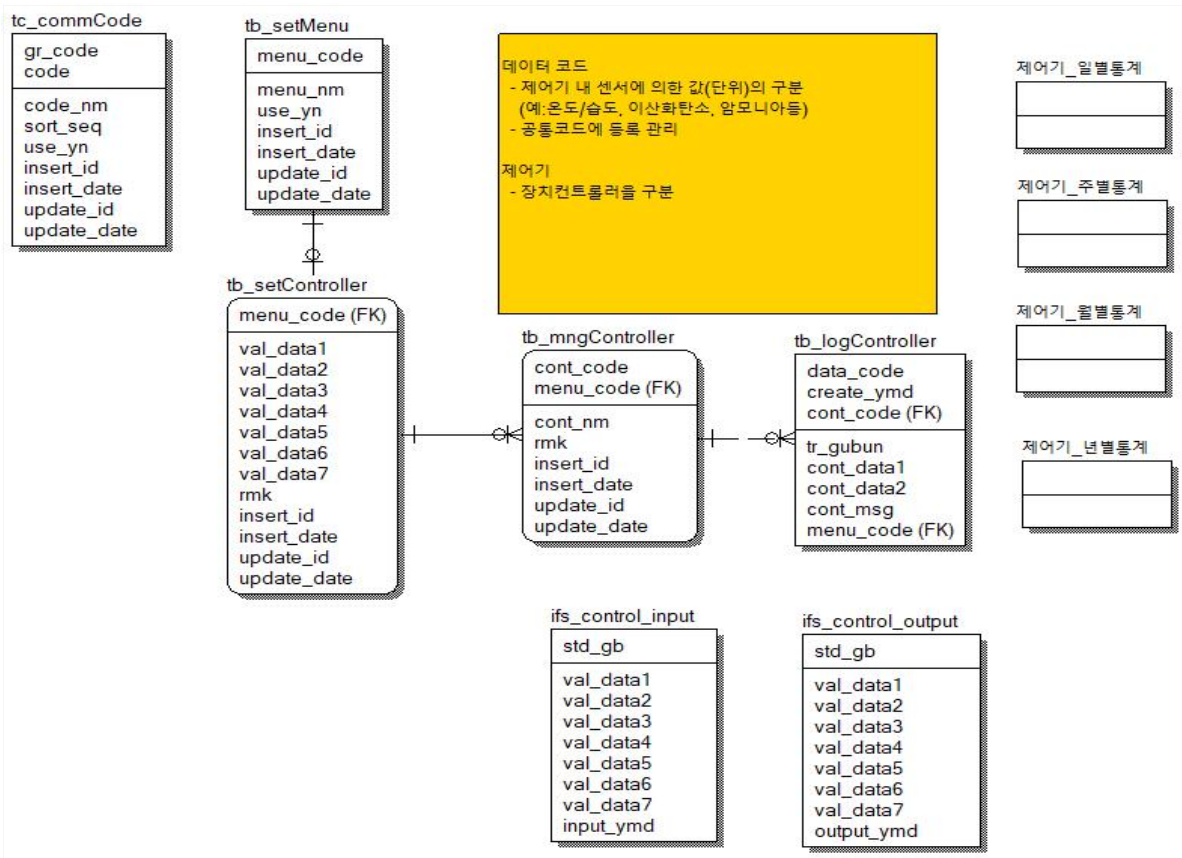
③ Web 모니터링 및 관리 시스템 개발

구분	기능	상세기능
Framework	eGovFramework 3.6	java기반의 정보시스템 구축에 활용 할 수 있는 개발·운영 표준환경 구성
	Bootstrap	모바일 우선인 웹프로젝트 개발을 위한 HTML, CSS, JS기반의 FrontEnd Framework
WAS	Tomcat7	웹서비스를 위한 JAVA환경 웹 어플리케이션 서버
DB	mysql	실시간 로그 수집을 위한 데이터베이스

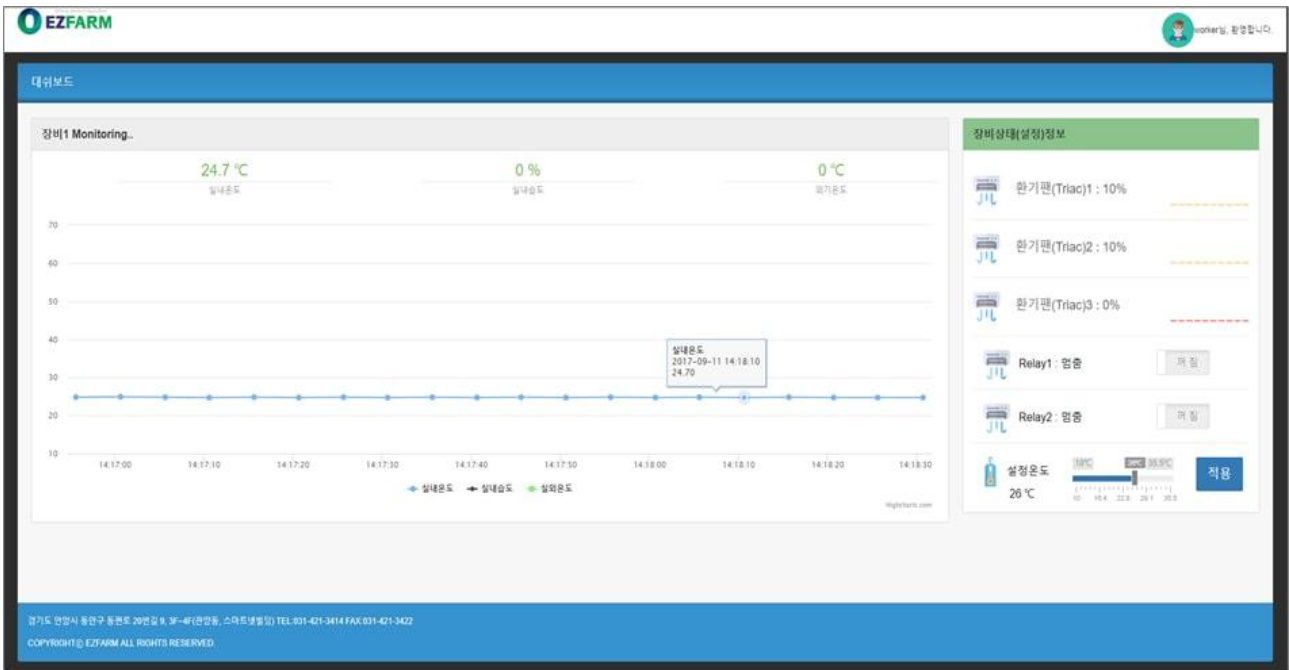
㉑ 논리 ERD



㉒ 물리 ERD

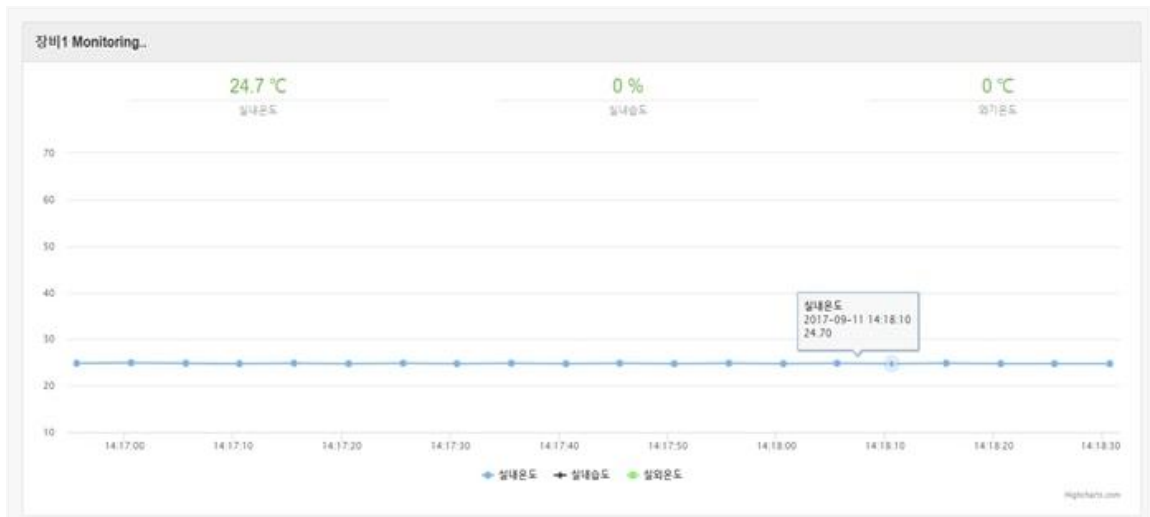


㉔ 환기장치 모니터링 및 제어 화면 개발



<대쉬보드(모니터링) 화면>

- ㉕ 모니터링 및 제어 설정부를 한 화면에서 권한에 따라 통합 관리 할 수 있도록 개발
- ㉖ 축사의 실내온도/습도, 외기온도에 대한 모니터링



- ㉗ 화면에 보이는 항목(환기팬/온습도 센서 사용 유무, 현재온도 설정 등)을 선택하여 설정 적용이 가능



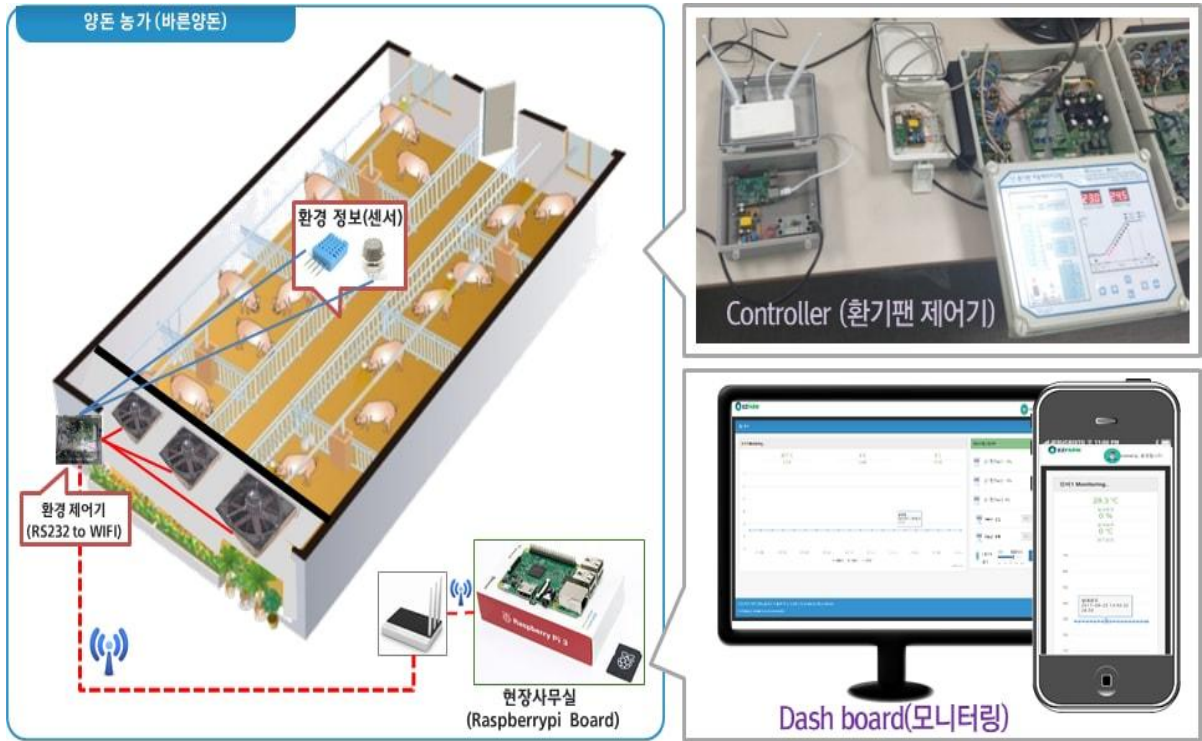
㉔ 모바일기기 접속 시에도 동일한 화면(반응형 웹)으로 기능 구현



<Mobile 조회 화면>

(다) 양돈 농가 현장 적용

① 현장 농가 구성(하동 바른양돈)



② 장비 설치 전과 후



③ 농가 현장 설치 작업



<설치 작업 사진>

(라) 연구수행 결과

- ① 환기 제어 장비 및 유무선 데이터 송수신 장치를 개발 완료하여 테스트베드 농가에 현장 적용 하였으며 현장 적용 결과 몇 가지 고도화 부분 필요
 - 출력 전류량 측정 : 현재 출력 즉 팬이 동작하고 있는지 아닌지 만을 검지하고 있는데 저 전력 팬의 경우 최소 출력일 경우 동작여부가 검지되지 않으므로 이 문제를 해결하기 위해 전류량을 측정(ADC)하여 보완 필요
 - 릴레이 소켓타입으로 변경 : 보드에 릴레이가 직접 납땜되어 있어 릴레이 오류 시 보드 전체를 교환하여야 하므로 릴레이 교환이 가능한 소켓 타입으로 설계 변경 및 부품 변경
 - 단자대 교체 : 출력 보드의 단자대가 단자대 리드에 의해서만 지탱되고 있어서 볼트 조임 시 움직임이 생기므로 안정적인 작업이 가능한 단자대로 부품 교체 및 디자인 변경 필요하며 온도 센서 연결 단자대가 케이스와 간격이 좁아 작업성이 떨어져 작업성이 좋은 단자대로 교체 필요

- 전원부의 안정성 확인 : 외부로부터의 노이즈로 인한 시스템 안정성을 확인할 필요가 있으며 현장에 설치 테스트가 진행되지 않아 문제가 발생할 가능성이 있으므로 현장 설치 테스트 시 라즈베리파이에 로그 기록을 남겨 현상을 관찰하고 문제가 발견되면 파워 부분 검토 필요
 - 습도 온도계 설치 방안 마련 : 건구/습구 온도계를 사용하여 상대습도를 계산하는데 습구 센서를 장착할 구조물이 필요하여 이에 대해 검토 필요
 - 온도 센서 인터페이스 : 4선 방식의 차등신호 처리하도록 설계되어 있는 센서 인터페이스를 통용되는 센서도 적용 가능하도록 수정
- ② 3차년도에 개발될 서울대 환기 개선 알고리즘을 환기 제어 시스템에 탑재하기 위해 몇 가지 고도화 필요
- 추가적인 센서 인터페이스 : 기존 컨트롤러에 적용되고 있지 않은 센서정보가 필요(이산화탄소, 암모니아 센서 등). 이에 센서 인터페이스 가능한 시스템 설계 필요. 센서 네트워크 개념 도입
 - 센서 인터페이스를 위한 센서박스(센서 네트워크) 사양
 - . 유무선 통신 적용 가능 : CAN, RS232/RS485, Wifi, LoRa, EtherNet
 - . 디지털(유무선) 센서 데이터 처리 가능
 - . 아날로그 센서 처리 가능
 - . 출력 포트(On/Off, PWM)
 - . 자체 프로토콜에 의한 컨트롤러와 데이터 송수신
 - . 센서 네트워크 관련 프로토타입 개발을 진행하고 서울대 연구팀의 결과를 바탕으로 필요한 센서 인터페이스와 샘플 제작
 - 알고리즘 구현 : 알고리즘의 난이도에 따라 컨트롤러에 이식할지 게이트웨이(라즈베리파이)에 이식할지 결정. 외부 센서 데이터가 활용되므로 추가적인 센서 데이터 처리 필요. 환경 구성 사용자 인터페이스 등이 추가 되어야 하며 센서 타입과 활용에 필요한 데이터 처리가 추가 개발되어야 함
 - 라즈베리파이가 다수의 컨트롤러를 관리할 수 있도록 데이터 및 통신 처리 모듈 개발하며 현장 의견 수렴하여 GUI 반영

(3) 3년차 연구 수행 내용 및 결과

(가) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 실증

① 가금 농장 현장 적용 및 실증

㉠ 위탁연구기관(서울대학교)에서 1,2차년도 연구된 환기개선안 반영

㉠ 육계사 환기량 알고리즘

$$\text{육계의 한 마리 전열량 (현열량 + 잠열량)} = \phi_{tot} = 10.62m^{0.75} \times \left(1 + \frac{20 - T_i}{50}\right)$$

T_i 는 내부 온도, m 는 육계 한 마리 무게 (kg)

$$\text{육계의 일령별 무게(m) 변화} = 3.575e^{-2} + 1.114e^{-2} \times \text{일령} + 1.168e^{-3} \times \text{일령}^2$$

$$\text{육계의 한 마리 현열량} = \phi_s = \frac{\phi_{tot}}{1000} \times [0.61 \times \{1000 + 20(20 - T_i)\} - 0.228T_i]$$

$$\text{육계의 한 마리 잠열량} = \phi_L = \text{전열량} - \text{현열량}$$

$$\text{온도를 고려한 필요 환기량 (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)} = \dot{V}_s = \frac{\text{마리수} \times \phi_s}{1.006\rho(T_i - T_o)}$$

$$\text{습도를 고려한 필요 환기량} = \dot{V}_L = \frac{\text{마리수} \times \phi_L}{2501\rho(W_i - W_o)}$$

W_i 는 내부 절대습도이고, W_o 는 외부 절대습도 (kg/kg(da))

상대습도를 절대습도로 변환하는 식

$$\ln(P_{ws}) = \frac{A_1}{T} + A_2 + A_3T + A_4T^2 + A_5T^3 + A_6\ln(T)$$

여기서, P_{ws} 는 수증기압, T 는 온도(K), $A_1 \sim A_6$ 는 상수이다.

$$A_1 = -5.8002206 \times 10^3, A_2 = 1.3914993 \times 10^0, A_3 = -48.640239 \times 10^{-3}, A_4 = 41.764768 \times 10^{-6}, A_5 = -14.452093 \times 10^{-9}, A_6 = 6.5459673 \times 10^0$$

$$RH = \frac{P_w}{P_{ws}} \times 100$$

$$\text{엔탈피를 고려한 필요 환기량} = \dot{V}_c = \frac{\text{마리수} \times \phi_{tot}}{\rho(h_i - h_o)}$$

$$\text{엔탈피 (h)} = 1.006 \times T_{i \text{ or } o} + W_{i \text{ or } o} \times (1.84 \times T_{i \text{ or } o} + 2501)$$

$$\text{오염물질을 고려한 필요 환기량 (가스, 분진)} = \dot{V} = \frac{\dot{B}}{\rho(b_i - b_o)}$$

$$\dot{B} = \rho b_i \dot{V} = \rho E$$

B 는 각 오염물질 발생량, ρ 는 밀도, V 는 환기량, E 는 각 오염물질의 발생량, b_i 는 내부의 공기, b_o 는 외부의 공기가 맑은 공기 (0) 라 가정함.

$$NH_3.\text{emission} = \exp(4.602 - 0.173 * T_i - 0.034 * RH_i + 0.247 * \text{일령})$$

$$CO_2.\text{emission} = \exp(9.503 - 0.072 * T_i - 0.008 * RH_i + 0.126 * \text{일령})$$

$$\text{Inh.emission (흡입성분진)} = \exp(9.783 - 0.095 * T_i - 0.030 * RH_i + 0.222 * \text{일령})$$

$$\text{Res.emission (호흡성분진)} = \exp(5.795 - 0.042 * T_i + 0.250 * \text{일령})$$

따라서, C_a 는 각 오염물질의 허용기준치 (ppm), RH_i 는 내부 상대습도

$$V_{nh3} = \frac{NH_3.\text{emission}}{\rho \times c_a} = \frac{\exp(4.602 - 0.173 \times T_i - 0.034 \times RH_i + 0.247 \times \text{일령})}{\rho \times c_a}$$

육계사에서의 암모니아 노출기준 (C_a) = 25ppm

$$V_{CO_2} = \frac{CO_2.emission}{\rho \times c_a} = \frac{\exp(9.503 - 0.072 \times T_i - 0.008 \times RH_i + 0.126 \times \text{일령})}{\rho \times c_a}$$

육계사에서의 이산화탄소 노출기준 (C_a) = 5,000ppm

$$V_{Inh} = \frac{Inh.emission}{\rho \times c_a} = \frac{\exp(9.783 - 0.095 \times T_i - 0.030 \times RH_i + 0.222 \times \text{일령})}{\rho \times c_a}$$

육계사에서의 호흡성분진 노출기준 (C_a) = 160 ($\mu\text{g m}^{-3}$)

$$V_{Res} = \frac{Res.emission}{\rho \times c_a} = \frac{\exp(5.795 - 0.042 \times T_i + 0.250 \times \text{일령})}{\rho \times c_a}$$

육계사에서의 흡입성분진 노출기준 (C_a) = 2,400 ($\mu\text{g m}^{-3}$)

㉔ 비육사 환기 알고리즘

비육돈의 한 마리 전열량 (현열량 + 잠열량) =

$$\phi_{tot} = \frac{1}{1000} \{5.09m^{0.75} + [1 - (0.47 + 0.003m)][2.45 \times 5.09m^{0.75} - 5.09m^{0.75}]\}$$

$$\times [1000 + 12 \times (20 - t)]$$

T_i 는 내부 온도, m 는 비육돈 한 마리 무게 (kg)

비육돈의 한 마리 현열량 =

$$\phi_s = \frac{1}{1000} \{5.09m^{0.75} + [1 - (0.47 + 0.003m)][2.45 \times 5.09m^{0.75} - 5.09m^{0.75}]\}$$

$$\times \{0.62[1000 + 12 \times (20 - t)] - 1.15 \times 10^{-7} \times t^6\}$$

비육돈의 한 마리 잠열량 = 전열량 - 현열량

온도를 고려한 필요 환기량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) = $\dot{V}_s = \frac{\text{마리수} \times \phi_s}{1.006\rho(T_i - T_o)}$

습도를 고려한 필요 환기량 = $\dot{V}_L = \frac{\text{마리수} \times \phi_L}{2501\rho(W_i - W_o)}$

W_i 는 내부 절대습도이고, W_o 는 외부 절대습도
상대습도를 절대습도로 변환하는 식

$$\ln(P_{WS}) = \frac{A_1}{T} + A_2 + A_3T + A_4T^2 + A_5T^3 + A_6\ln(T)$$

여기서, P_{WS} 는 수증기압, T 는 온도(K), $A_1 \sim A_6$ 는 상수이다.

$A_1 = -5.8002206 \times 10^3$, $A_2 = 1.3914993 \times 10^0$, $A_3 = -48.640239 \times 10^{-3}$, $A_4 = 41.764768 \times 10^{-6}$,
 $A_5 = -14.452093 \times 10^{-9}$, $A_6 = 6.5459673 \times 10^0$

$$RH = \frac{P_W}{P_{WS}} \times 100$$

엔탈피를 고려한 필요 환기량 = $\dot{V}_e = \frac{\text{마리수} \times \phi_{tot}}{\rho(h_i - h_o)}$

엔탈피 (h) = $1.006 \times T_{i \text{ or } o} + W_{i \text{ or } o} \times (1.84 \times T_{i \text{ or } o} + 2501)$

오염물질을 고려한 필요 환기량 (가스, 분진) = $\dot{V} = \frac{\dot{B}}{\rho(b_i - b_o)}$

$$\dot{B} = \rho b_i \dot{V} = \rho E$$

B 는 각 오염물질 발생량, ρ 는 밀도, V 는 환기량, E 는 각 오염물질의 발생량, b_i 는 내부의 공기, b_o 는 외부의 공기가 맑은 공기 (0)라 가정함.

$NH_3.emission = 158.72826 - 3.57838 * T_i - 0.54867 * RH_i$
 $CO_2.emission = 39365.993 - 1009.146 * T_i - 131.801 * RH_i$
 $Inh.emission$ (흡입성분진) = $8589.895 - 210.812 * T_i - 30.656 * RH_i$
 $Res.emission$ (호흡성분진) = $1094.1187 - 25.7424 * T_i - 3.9710 * RH_i$

따라서,

$$V_{nh3} = \frac{NH_3 \cdot emission}{\rho \times c_a} = \frac{158.72826 - 3.57838 \times T_i - 0.54867 \times RH_i}{\rho \times c_a}$$

비육돈사에서의 암모니아 배출기준 (C_a) = 25ppm

$$V_{co2} = \frac{CO_2 \cdot emission}{\rho \times c_a} = \frac{39365.993 - 1009.146 \times T_i - 131.801 \times RH_i}{\rho \times c_a}$$

비육돈사에서의 이산화탄소 배출기준 (C_a) = 5,000ppm

$$V_{inh} = \frac{Inh \cdot emission}{\rho \times c_a} = \frac{8589.895 - 210.812 \times T_i - 30.656 \times RH_i}{\rho \times c_a}$$

비육돈사에서의 호흡성분진 배출기준 (C_a) = 230 ($ug\ m^{-3}$)

$$V_{Res} = \frac{Res \cdot emission}{\rho \times c_a} = \frac{1094.1187 - 25.7424 \times T_i - 3.97108 \times RH_i}{\rho \times c_a}$$

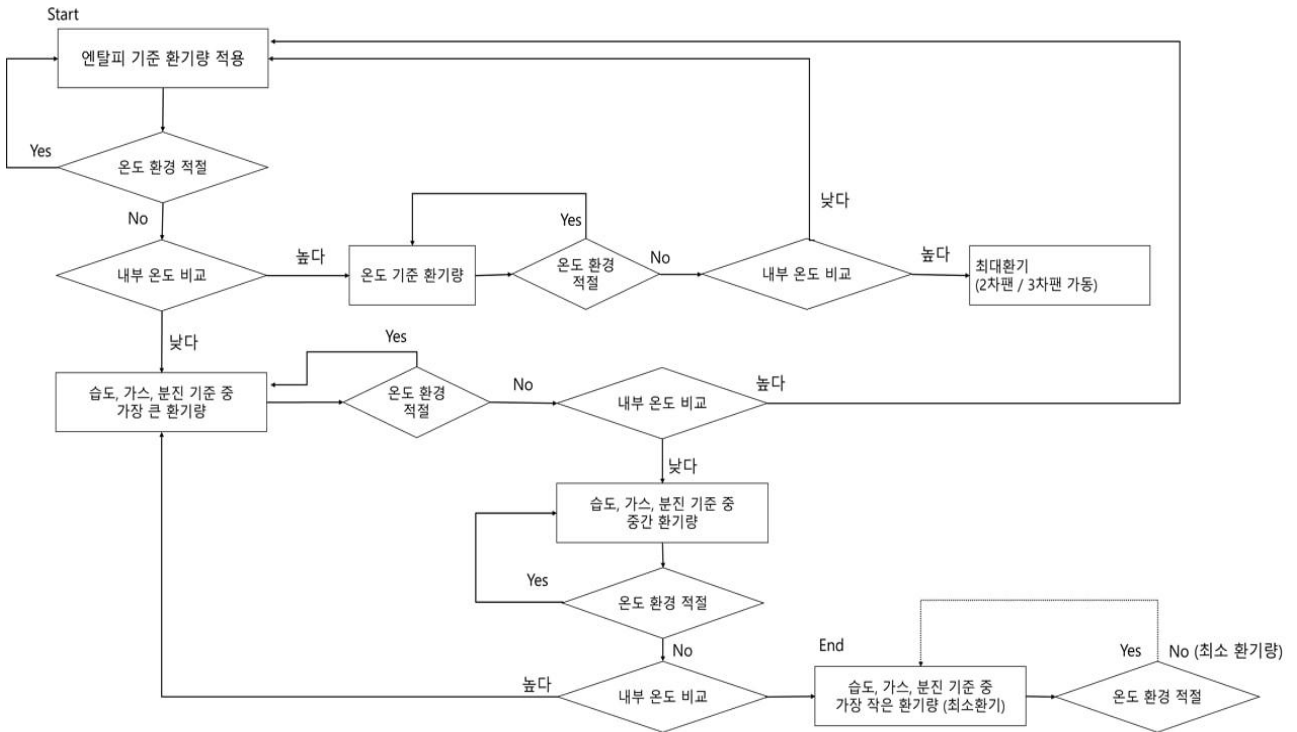
비육돈사에서의 흡입성분진 배출기준 (C_a) = 2500 ($ug\ m^{-3}$)

㉠ 환기 제어장치 알고리즘 적용

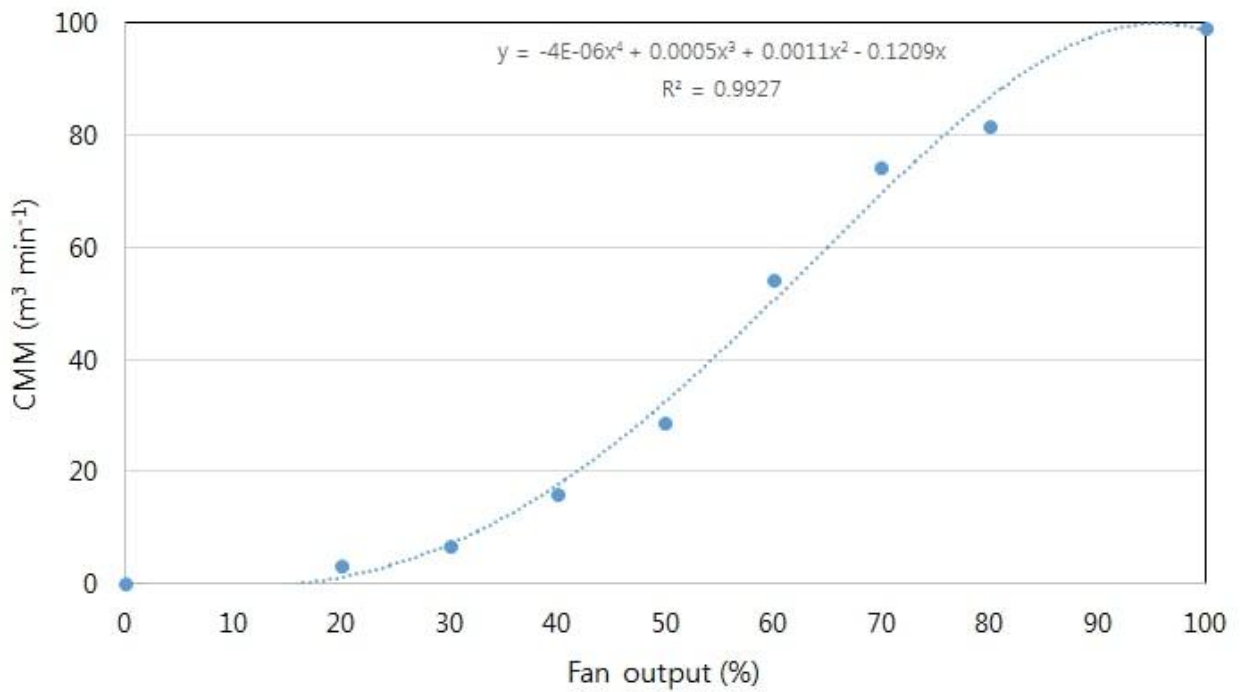
```

67 void CalcBaseValues()
68 {
69     static short cmp_low_warn_temp = 0, cmp_high_warn_temp = 0, cmp_set_temp = 0;
70     static double cmp_saved_temp[3] = { -9999.0, -9999.0, -9999.0 };
71     // current_control_variable
72     switch( m_PRCSetting.nTSensorInit & DEF_CONTROL_VAL_MASK ) {
73     case 1 : // 열량계수
74         if ( m_RoomTemperature00.nCurValue != cmp_saved_temp[0] || m_RoomTemperature01.nCurValue != cmp_saved_temp[1] ) {
75             // 열량계수를 사용하는데 습도센서가 연결되어 있지 않으면 초기 가상습도 값이 입력되어 있지 않으면
76             // 엔탈피 값이 0이 되어 온도경보가 발생함. 이런 경우를 방지하기 위해 센서가 설치되어 있지 않으면
77             // 상대습도 값을 65%로 강제하여 습구온도,엔탈피 값을 초기화 한다.
78             if ( !(m_PRCSetting.nTSensorInit & DEF_TSSENSOR01_IS_BIT) && m_RoomHumidity.nCurValue == 0 ) {
79                 m_RoomHumidity.nCurValue = 650; // 기본 65% RH
80                 m_RoomTemperature01.nCurValue = (short)(RH2MetTemp( (double)m_RoomTemperature00.nCurValue/10. , (double)m_RoomHumidity.nCurValue/1000. , (double)ATM )*10.);
81                 m_Enthalpy.nCurValue = ConvCalcEnthalpy(m_RoomTemperature00.nCurValue, m_RoomTemperature01.nCurValue );
82             }
83             m_DispCurrent = m_Enthalpy.nCurValue;
84
85             cmp_saved_temp[0] = m_RoomTemperature00.nCurValue;
86             cmp_saved_temp[1] = m_RoomTemperature01.nCurValue;
87             if ( cmp_low_warn_temp != m_PRCSetting.nLoAlarmTemp ) {
88                 g_nLowWarnTemp = (short)(RH2MetTemp( (double)m_PRCSetting.nLoAlarmTemp/10. , 0.65 , (double)ATM )*10.);
89                 g_nLowWarnTemp = ConvCalcEnthalpy(m_PRCSetting.nLoAlarmTemp, g_nLowWarnTemp);
90                 cmp_low_warn_temp = m_PRCSetting.nLoAlarmTemp;
91             }
92             if ( cmp_high_warn_temp != m_PRCSetting.nHiAlarmTemp ) {
93                 g_nHiWarnTemp = (short)(RH2MetTemp( (double)m_PRCSetting.nHiAlarmTemp/10. , 0.65 , (double)ATM )*10.);
94                 g_nHiWarnTemp = ConvCalcEnthalpy(m_PRCSetting.nHiAlarmTemp, g_nHiWarnTemp);
95                 cmp_high_warn_temp = m_PRCSetting.nHiAlarmTemp;
96             }
97             if ( cmp_set_temp != m_nCurSetTemp ) {
98                 // short cnvTemp = (short)(RH2MetTemp( (double)m_nCurSetTemp/10. , (double)m_RoomHumidity.nCurValue/1000. , (double)ATM )*10.);
99                 short cnvTemp = (short)(RH2MetTemp( (double)m_nCurSetTemp/10. , 0.65 , (double)ATM )*10.);
100                // 기준온도를 65% 상대습도일때 습구온도를 계산하여 증 엔탈피를 구함.
101                // 이 경우가 맞을지 현재습도를 적용하여 엔탈피를 구하는 것이 맞을 지 확인 필요함.
102                m_Cur_variable = ConvCalcEnthalpy(m_nCurSetTemp, cnvTemp);
103                cmp_set_temp = m_nCurSetTemp;
104            }
105        }
106        break;
107     case 2 : // 체감온도
108         if ( m_RoomTemperature00.nCurValue != cmp_saved_temp[0] || m_RoomTemperature01.nCurValue != cmp_saved_temp[1] || m_OutAirTemperature.nCurValue != cmp_saved_temp[2] ) {
109             // 열량계수를 사용하는데 습도센서가 연결되어 있지 않으면 초기 가상습도 값이 입력되어 있지 않으면
110             // 엔탈피 값이 0이 되어 온도경보가 발생함. 이런 경우를 방지하기 위해 센서가 설치되어 있지 않으면
111             // 상대습도 값을 65%로 강제하여 습구온도,엔탈피 값을 초기화 한다.
112             if ( !(m_PRCSetting.nTSensorInit & DEF_TSSENSOR01_IS_BIT) && m_RoomHumidity.nCurValue == 0 ) {
113                 m_RoomHumidity.nCurValue = 650; // 기본 65% RH
114                 m_RoomTemperature01.nCurValue = (short)(RH2MetTemp( (double)m_RoomTemperature00.nCurValue/10. , (double)m_RoomHumidity.nCurValue/1000. , (double)ATM )*10.);
115                 m_Enthalpy.nCurValue = ConvCalcEnthalpy(m_RoomTemperature00.nCurValue, m_RoomTemperature01.nCurValue );

```



<환기 제어 알고리즘 적용 순서도>



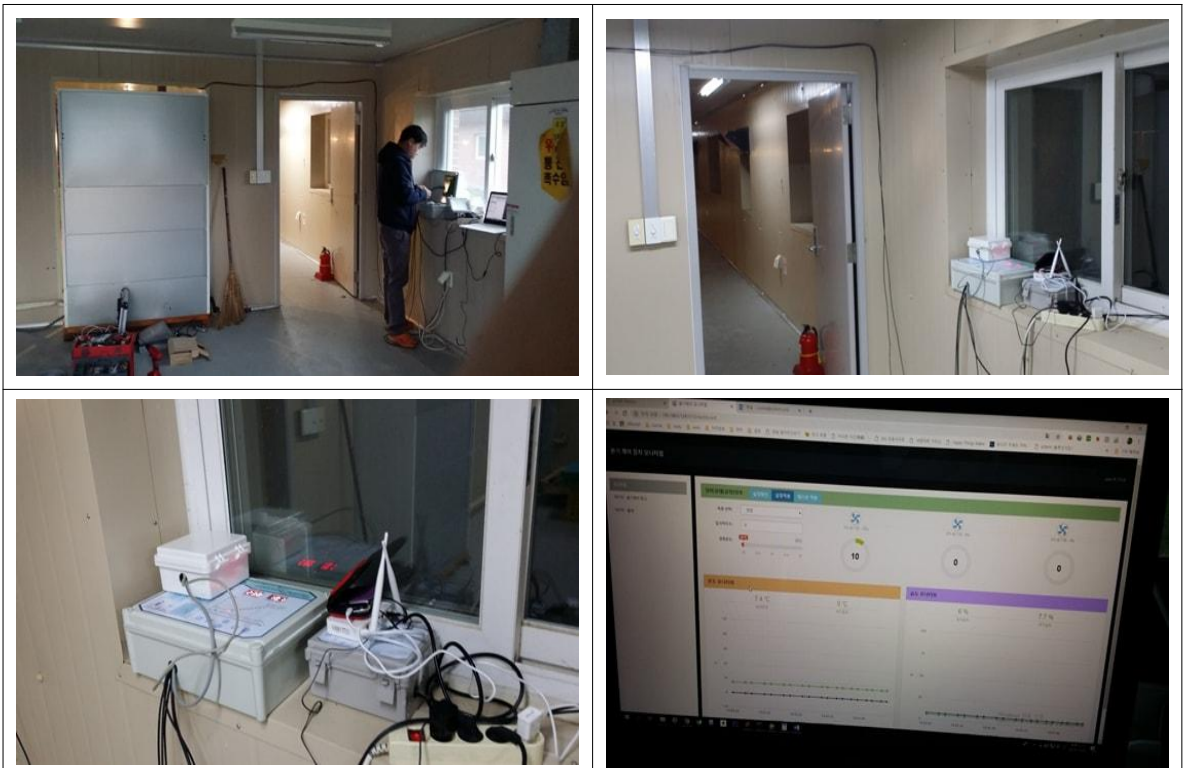
<환기량 그래프>

㉔ 가금 농장 현장 적용

- 서울대학교 평창캠퍼스 육계사 환기 제어 제품 현장 적용



<서울대 평창캠퍼스 육계사 - 설치 전>

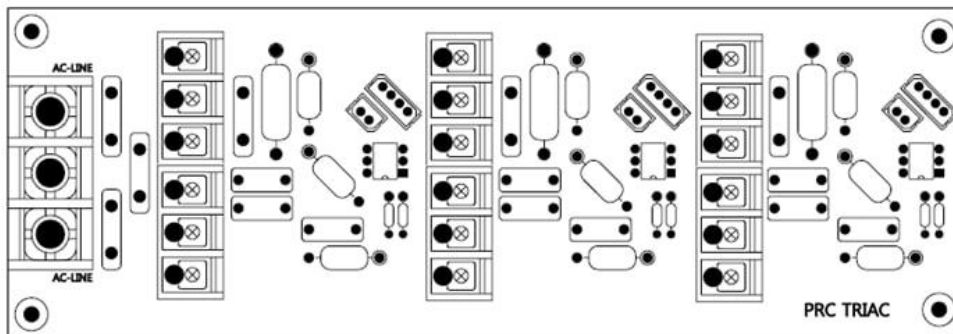
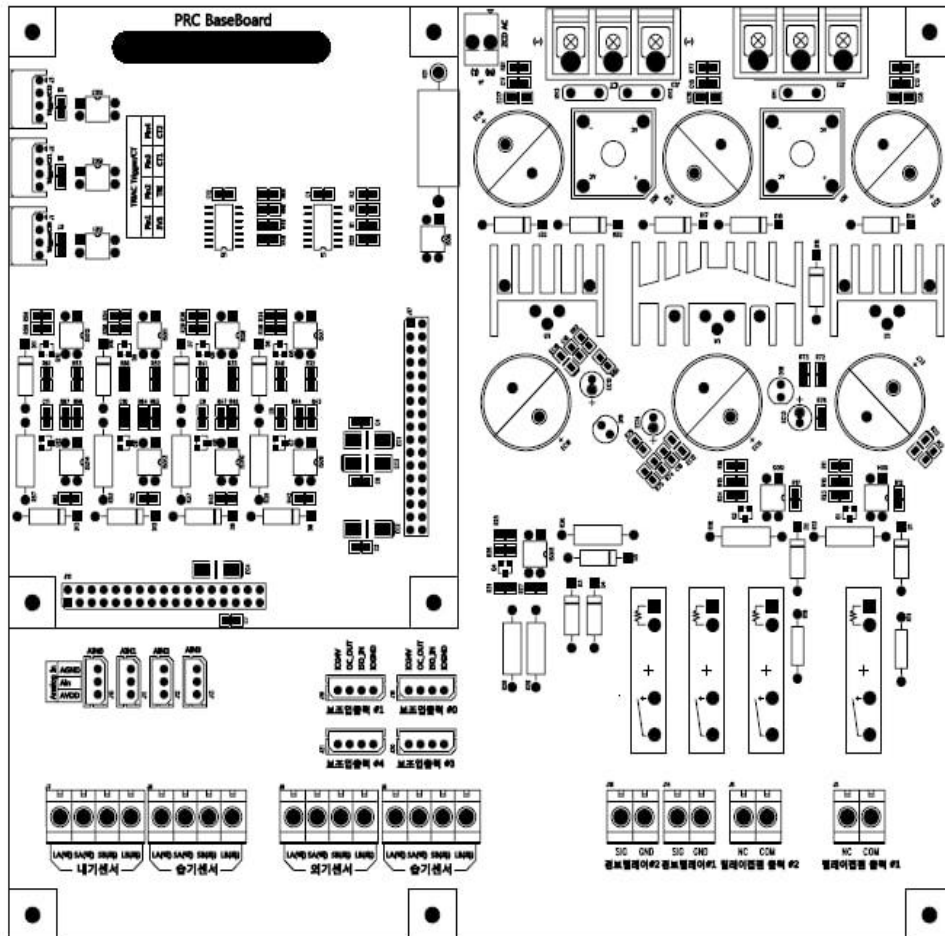


<서울대 평창캠퍼스 육계사 - 설치 후>

② 양돈 농장 환기 개선안 반영

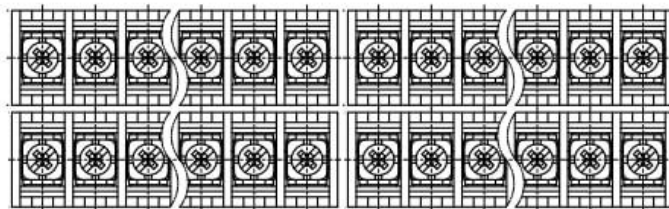
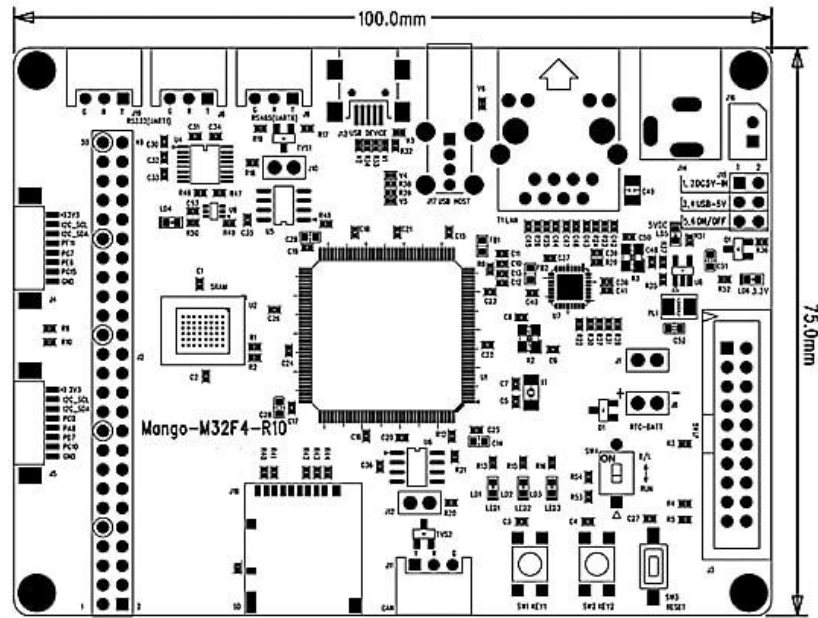
㉞ 2차년도 현장 테스트를 기반, 장비 업그레이드

㉟ PCB ARTWORK 수정



- 서울대 알고리즘 적용을 위한 (외기 온/습도) 센서 채널 추가
- 릴레이 소켓 타입으로 변경
- AC 부하 연결 단자대 교체

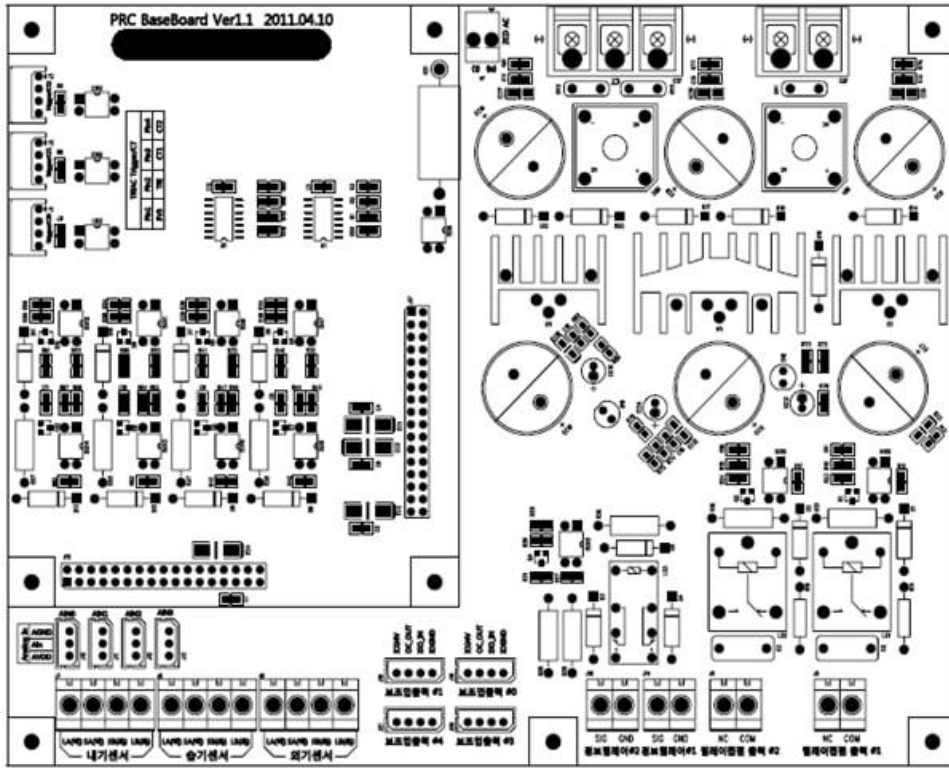
㉞ 센서박스 Control PCB



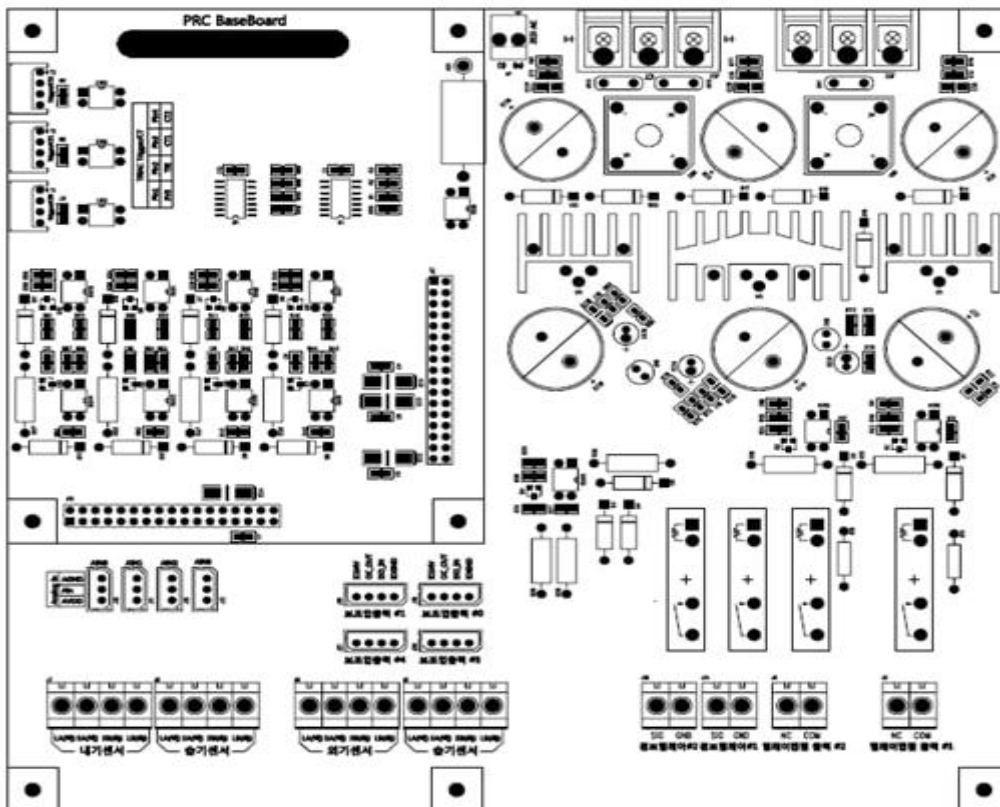
㉞ Control segment 구성변경

⊡	D0 ⊡	D1 ⊡	D2 ⊡	D3 ⊡	D5 ⊡	D5 ⊡	D6 ⊡	D7 ⊡
Heart beat 요청 ⊡	0x10 ⊡	year ⊡	mon ⊡	date ⊡	hour ⊡	min ⊡	sec ⊡	⊡
Heart beat 응답 ⊡	0x11 ⊡	year ⊡	mon ⊡	date ⊡	hour ⊡	min ⊡	sec ⊡	Send_id ⊡
센서정보 ⊡	0x20 ⊡	실내온도 ⊡	실내습도 ⊡	외기온도 ⊡	외기습도 ⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
출력정보 ⊡	0x30 ⊡	T1rac1 ⊡	T1rac2 ⊡	T1rac3 ⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
	0x31 ⊡	Relay1 ⊡	Relay2 ⊡	Relay3 ⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
경보 ⊡	0x40 ⊡	Err No ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
중계기 ID ⊡	0x60 ⊡	ID ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
일령정보 ⊡	0x70 ⊡	설정온도변경 ⊡	임시일령 ⊡	전출입 ⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
제어기 정보요청 ⊡	0x80 ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
제어기 센서 정보요청 ⊡	0x81 ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
제어기 출력 정보요청 ⊡	0x82 ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
제어기 스케줄 정보요청 ⊡	0x83 ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
일령관리 ⊡	0x90 ⊡	입식초기온도 ⊡	변경일 ⊡	일령관리 ⊡	경과일 ⊡	입식여부 ⊡	⊡	Send_id ⊡
	0x91 ⊡	중기편차 ⊡	변경일 ⊡	후기편차 ⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
T1rac 설정 ⊡	0xAn(1~3) ⊡	설치정보 ⊡	부하타입 ⊡	최소전압 ⊡	최대전압 ⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
Relay 설정 ⊡	0x8n ⊡	설치정보 ⊡	부하타입 ⊡	설정온도 ⊡	편차 ⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
센서설정 ⊡	0xCn ⊡	설치정보 ⊡	센서보정 ⊡	온도계산법 ⊡	단명지수 ⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
통신설정 ⊡	0xDn ⊡	설치정보 ⊡	모듈타입 ⊡	ID ⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
출력관리 ⊡	0xEn ⊡	설정온도 ⊡	가변범위 ⊡	최소출력 ⊡	최대출력 ⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
경보설정 ⊡	0xF0 ⊡	저온경보온도 ⊡	고온경보온도 ⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	Send_id ⊡
⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡
⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡
⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡	⊡

㉔ PCB 변경 전후 비교
 - 변경 전



- 변경 후



- 변경 사항

- 센서 측정 채널 추가 : 내/외기 온/습도
- 릴레이 소켓 변경
- 센서박스 사양
- CAN, RS232, 3ch/RS485 1ch
- Wifi, LoRa, EtherNet 모듈 지원
- sub pcb interfaces
- 알고리즘 적용 후 장점
- 기존 베이스보드에 센서측정용 채널을 추가하여 내부 온/습도만 측정하여 제어하던 방식에서 내/외부의 온/습도를 측정하여 제어하는 방식으로 변경되었으며 서울대에서 개발한 제어 알고리즘을 적용할 수 있게 됨
- 엔탈피를 활용한 기존 환기량 측정을 적용하여 내외부 온/습도 데이터 습득 비교하는 알고리즘을 적용함으로써 환기량 제어를 효율적으로 제어할 수 있게 됨

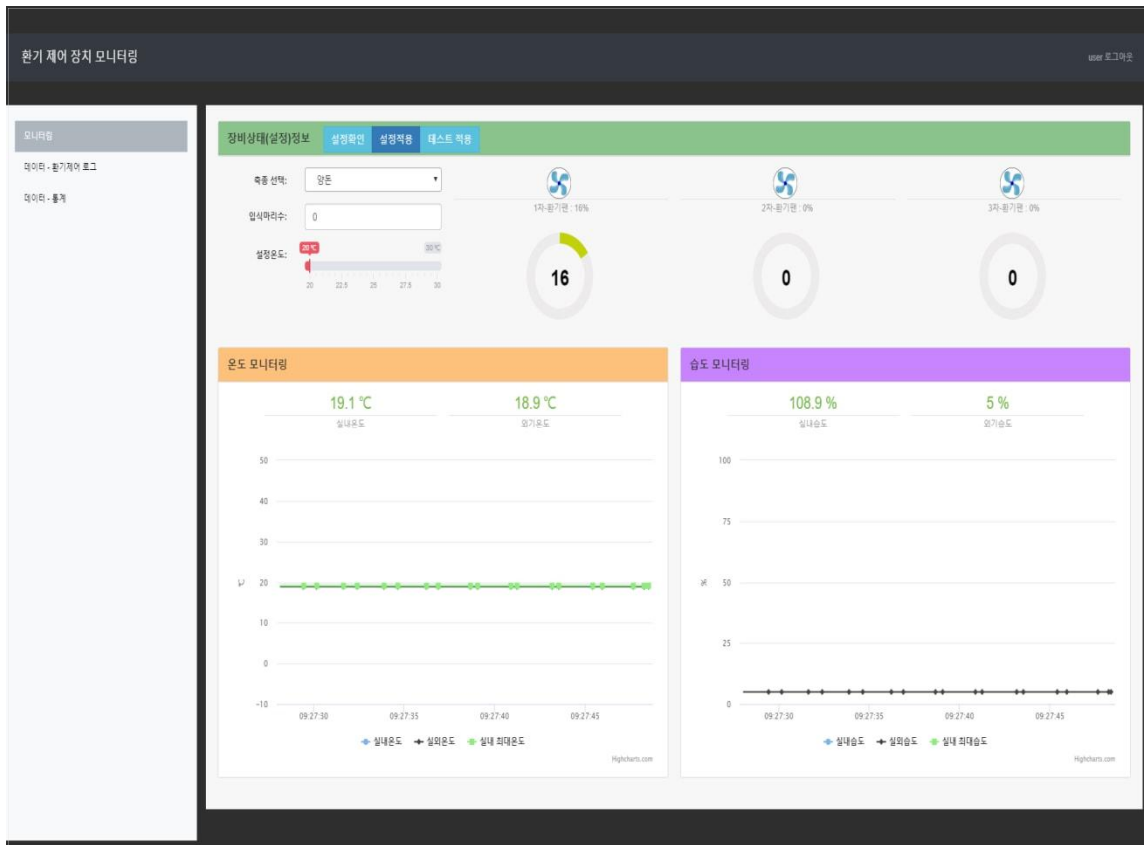
㉞ 양돈 농장 현장 적용

- 경남 하동 바른양돈 환기 제어 개선 제품 현장 적용



<하동 바른양돈 - 환기 개선 제품 적용>

- ㉔ 2차년도의 테스트 및 연구결과를 바탕으로 환기팬 자동 제어 시스템 업그레이드
- ㉕ 자동 제어 웹 서비스 화면

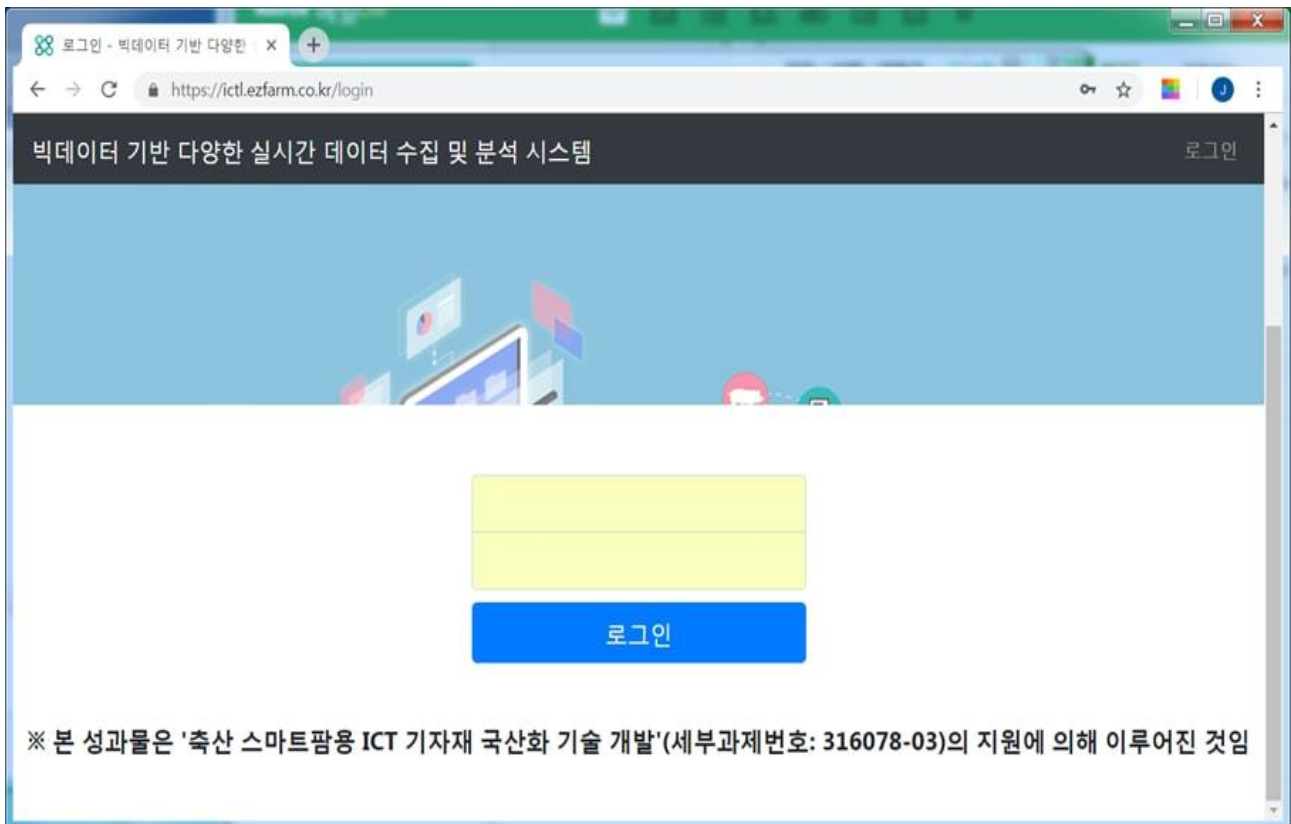


- 알고리즘 적용을 위한 사육형태(양계/양돈). 사육 마리수 항목 추가
- 양계의 경우 입식 일령 항목을 추가하여 기간에 따른 평균 체중 산술식을 적용
- 펌웨어 구현부분과 웹서비스상 설정부분에 대한 확인 알고리즘 추가

(나) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 사업화

① 빅데이터 기반 다양한 실시간 데이터 수집 및 분석 시스템 개발

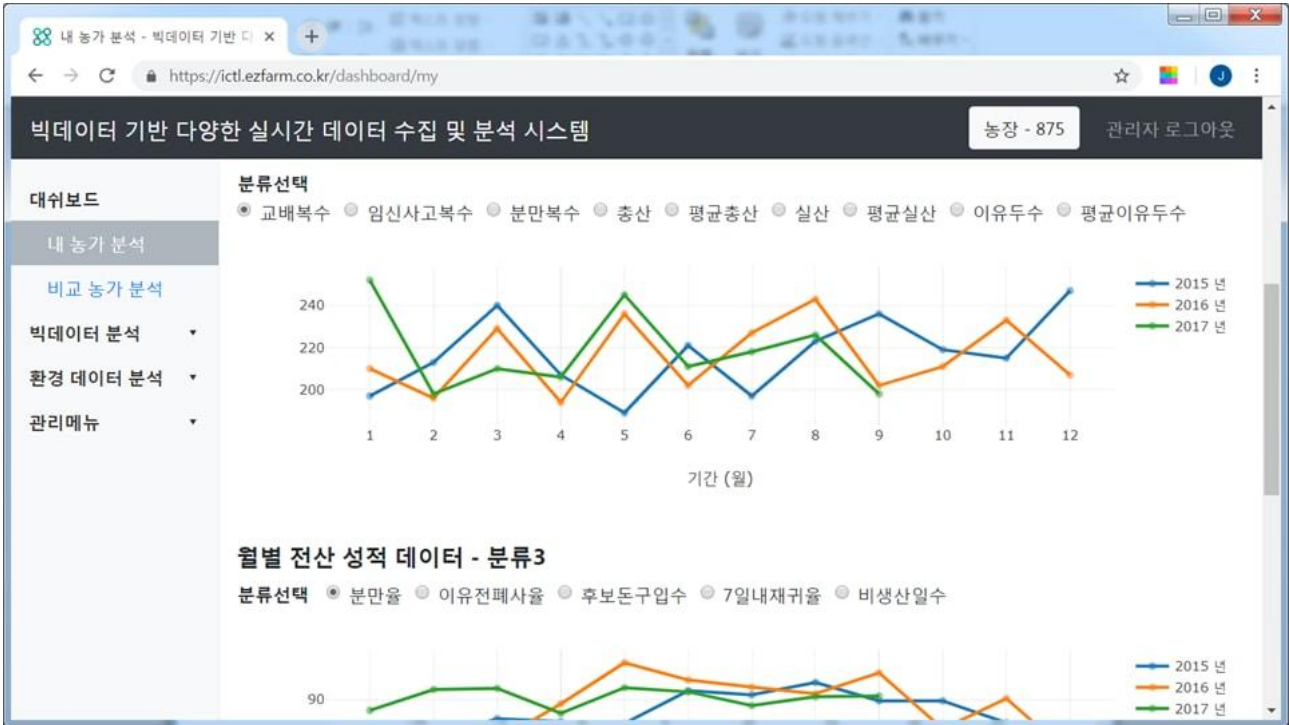
- 빅데이터 기반 농가 데이터 현황을 파악하고 시각화 서비스를 위한 데이터 수집 및 분석 시스템 개발



- 사이트 주소 : <https://ictl.ezfarm.co.kr>

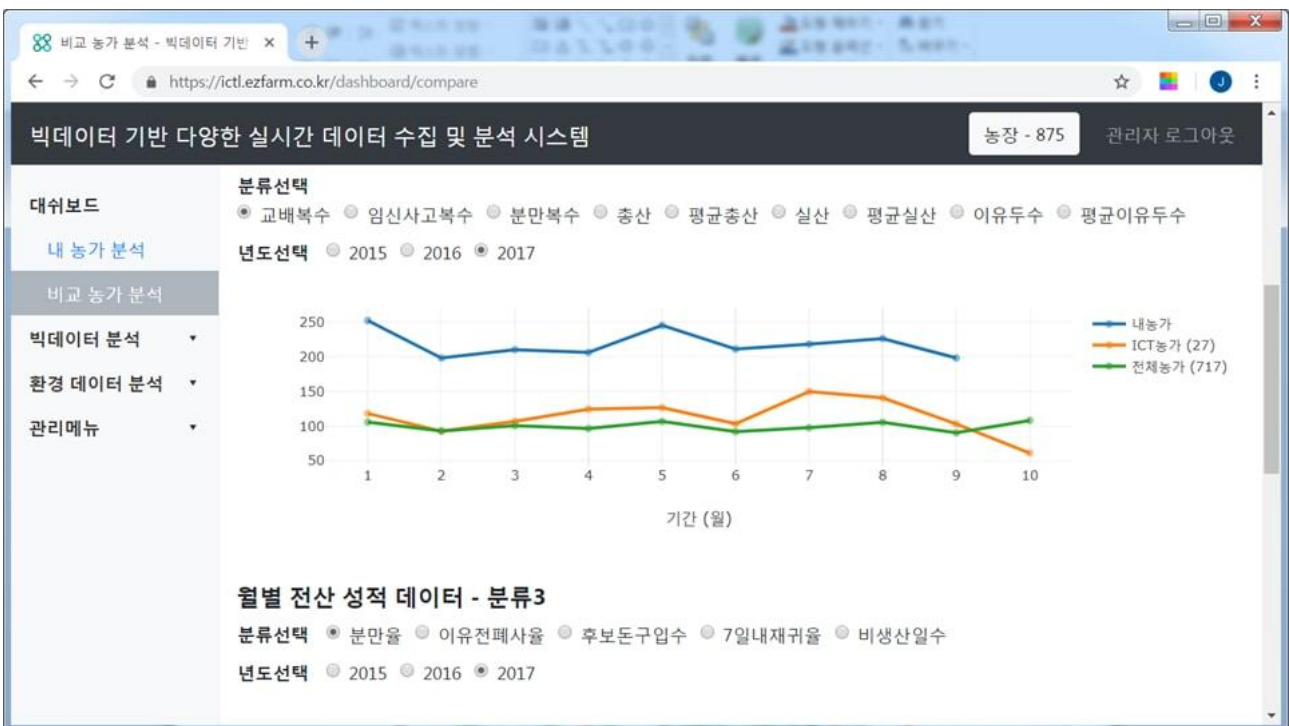
㉠ 대쉬보드

- 내 농가 분석과 비교 농가 분석을 제공하여 내 농가의 성적과 ICT 농가와 전체 농가 비교를 통해 내 농장의 상황을 시각화하여 제공하며 관리자는 농장을 선택하여 농장별로 조회 가능
- 내 농가 분석에서는 월별 전산 성적 데이터와 모돈별 생산 데이터를 시각화하여 제공
- 모돈별 생산 데이터는 내 농가의 모돈들을 산차별로 분류하여 총산, 실산, 이유두수를 시각화하여 제공



<내농가 분석>

- 비교농가 분석은 월별 전산 성적 데이터와 모돈별 생산 데이터를 연도선택, 분류선택을 통해 내 농가, ICT 농가, 전체농가와 구분하여 비교 분석할 수 있도록 시각화하여 제공



<비교 농가 분석>

㉔ 빅데이터 분석

- 빅데이터 분석에서는 초교배일령, 재귀일, 여름철 출하 체중, 계절별 사료 섭취량, 온도별 사료 섭취량 분석을 시각화하여 제공



<계절별 사료 섭취량>

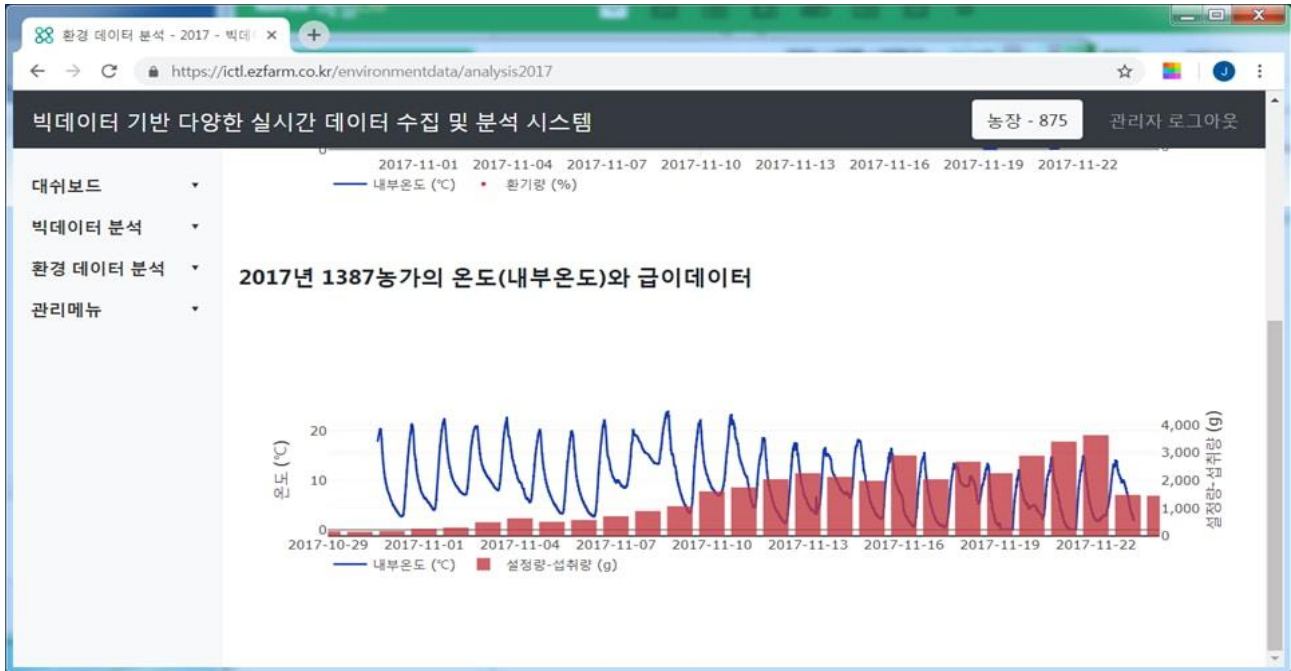
㉕ 환경 데이터 분석

- 환기 제어 시스템을 통해 수집되는 내부 온도/습도, 외부 온도/습도, 환기량의 데이터를 시각화하여 분석할 수 있도록 제공



<온도와 환기량>

- 환기 제어 시스템을 통해 수집되는 내부 온도와 양돈 전산관리 시스템을 통해 수집된 사료 급이 데이터(급이 설정량 - 급이섭취량 차이)를 연계 및 시각화하여 분석할 수 있도록 제공



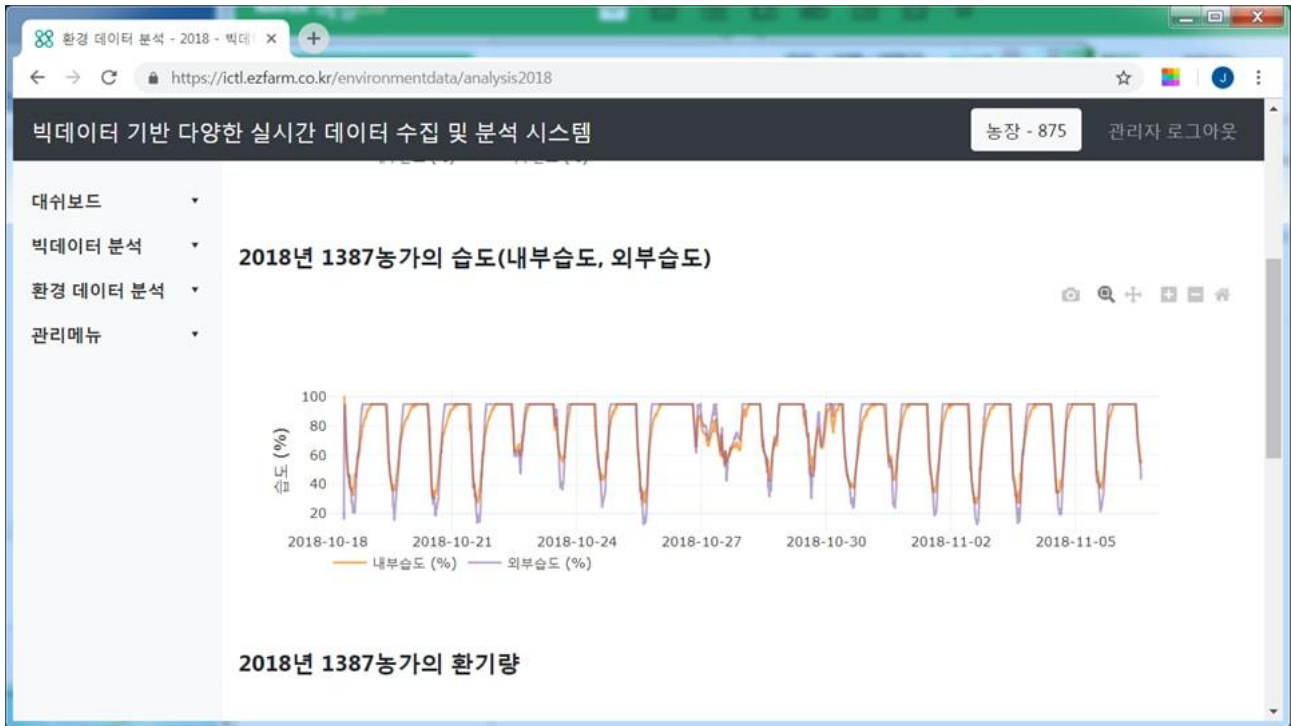
<온도와 급이 데이터>

- 환기 제어 시스템을 통해 수집되는 내부 온도, 외부 온도의 데이터를 시각화하여 분석할 수 있도록 제공



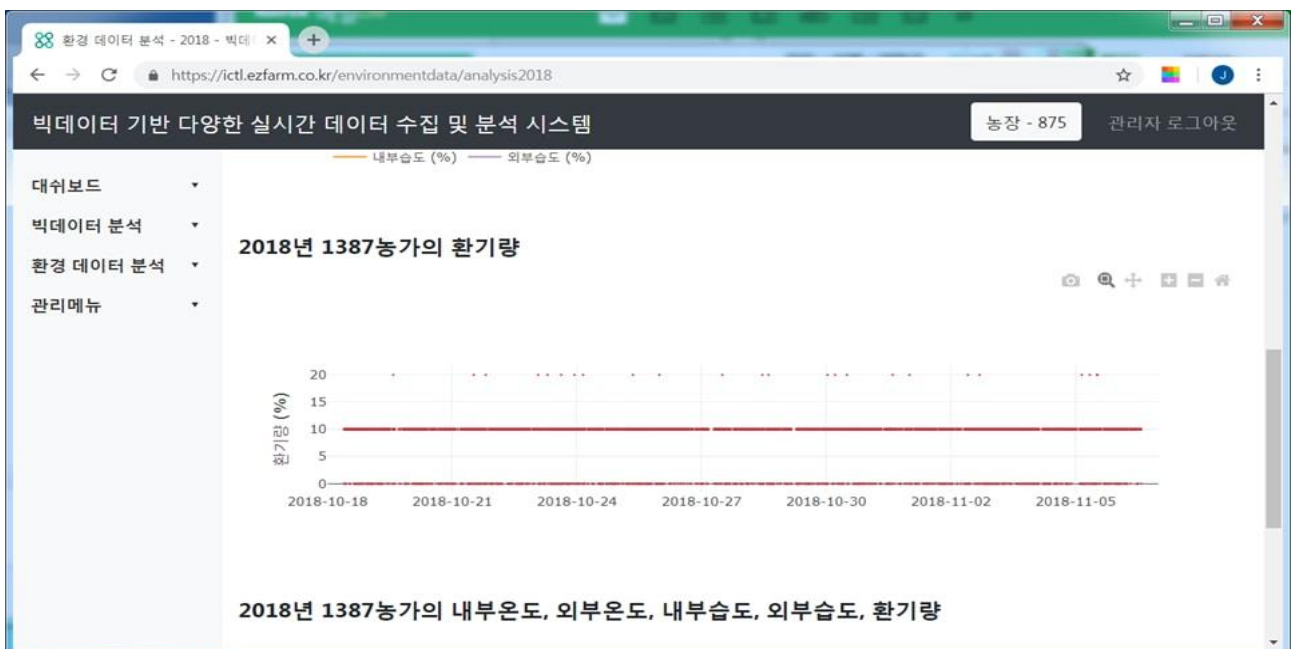
<내부온도와 외부온도>

- 환기 제어 시스템을 통해 수집되는 내부 습도, 외부 습도의 데이터를 시각화하여 분석할 수 있도록 제공



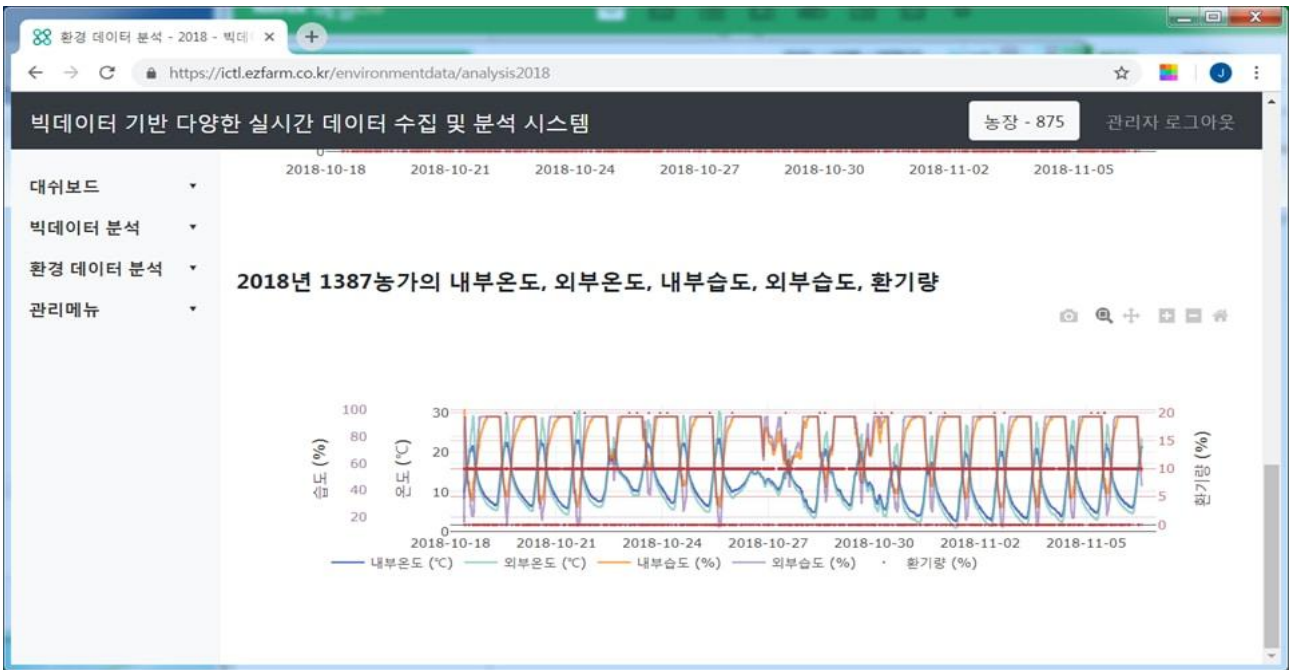
<내부습도와 외부습도>

- 환기 제어 시스템을 통해 수집되는 내부 습도, 외부 습도의 데이터를 시각화하여 분석할 수 있도록 제공



<환기량>

- 환기 제어 시스템을 통해 수집되는 내부 온도/습도, 외부 온도/습도, 환기량의 데이터를 시각화하여 분석할 수 있도록 제공



<내부온도/습도, 외부 온도/습도, 환기량>

- ② 환기팬 자동 제어 시스템 매뉴얼
 - ㉠ 순서도



관리모드 순서도

설정온도/현재온도

ESC를 888 888까지 길게 누른다.
SEL, 0을 선택한다.
P 표시시 비밀번호를 을 누른다.

o.14 T1 설정온도	▼
o.15 T1 가변범위	▼
o.16 T1 최소출력	▼
o.17 T1 최대출력	▼

o.24 T2 설정온도	▼
o.25 T2 가변범위	▼
o.26 T2 최소출력	▼
o.27 T2 최대출력	▼

o.34 T3 설정온도	▼
o.35 T3 가변범위	▼
o.36 T3 최소출력	▼
o.37 T3 최대출력	▼

o.60 경보사용유무	▼
o.61 저온경보온도	▼
o.62 고온경보온도	▼

o.53 R2 설정온도	▼
o.54 R2 온도편차	▼

o.43 RI 설정온도	▼
o.44 RI 온도편차	▼

d.11 입식초기온도	▼
d.12 온도변경날짜	▼
d.13 입식중기온도	▼
d.14 온도변경날짜	▼
d.15 입식후기온도	▼

설치모드 순서도

설정온도/현재온도

ESC를 888 888까지 길게 누른다.
SEL, 1을 선택한다.
P 표시시 비밀번호를 을 누른다.

-i.0 장치 ID	+
-i.1 장치 ID	+
-20 통계기 ID	+
-30 AC 입력전압	▼
-31 RTC 설정(년)	▼
-32 RTC 설정(월)	▼
-33 RTC 설정(일)	▼
-34 RTC 설정(시)	▼
-35 RTC 설정(분)	▼
-36 RTC 설정(초)	▼
o.60 알람사용	▼
o.61 저온경보온도	▼
o.62 고온경보온도	▼

o.10 T1 설치정보	+
o.11 T1 부하타입	+
o.12 T1 최소전압	+
o.13 T1 최대전압	+
o.20 T2 설치정보	+
o.21 T2 부하타입	+
o.22 T2 최소전압	+
o.23 T2 최대전압	+
o.30 T3 설치정보	+
o.31 T3 부하타입	+
o.32 T3 최소전압	+
o.33 T3 최대전압	+
o.40 RI 설치정보	+
o.41 RI 부하타입	+
o.42 RI 출력점검	+
o.50 R2 설치정보	+
o.51 R2 부하타입	+
o.52 R2 출력점검	+

s.10 실내센서정보	+
s.11 실내센서보정	+
s.20 실내센서정보	+
s.21 실내센서보정	+
s.30 실내센서정보	+
s.31 실내센서보정	+
s.40 제어변수	+
s.50 단열치수	+

d.10 밀령관리사용

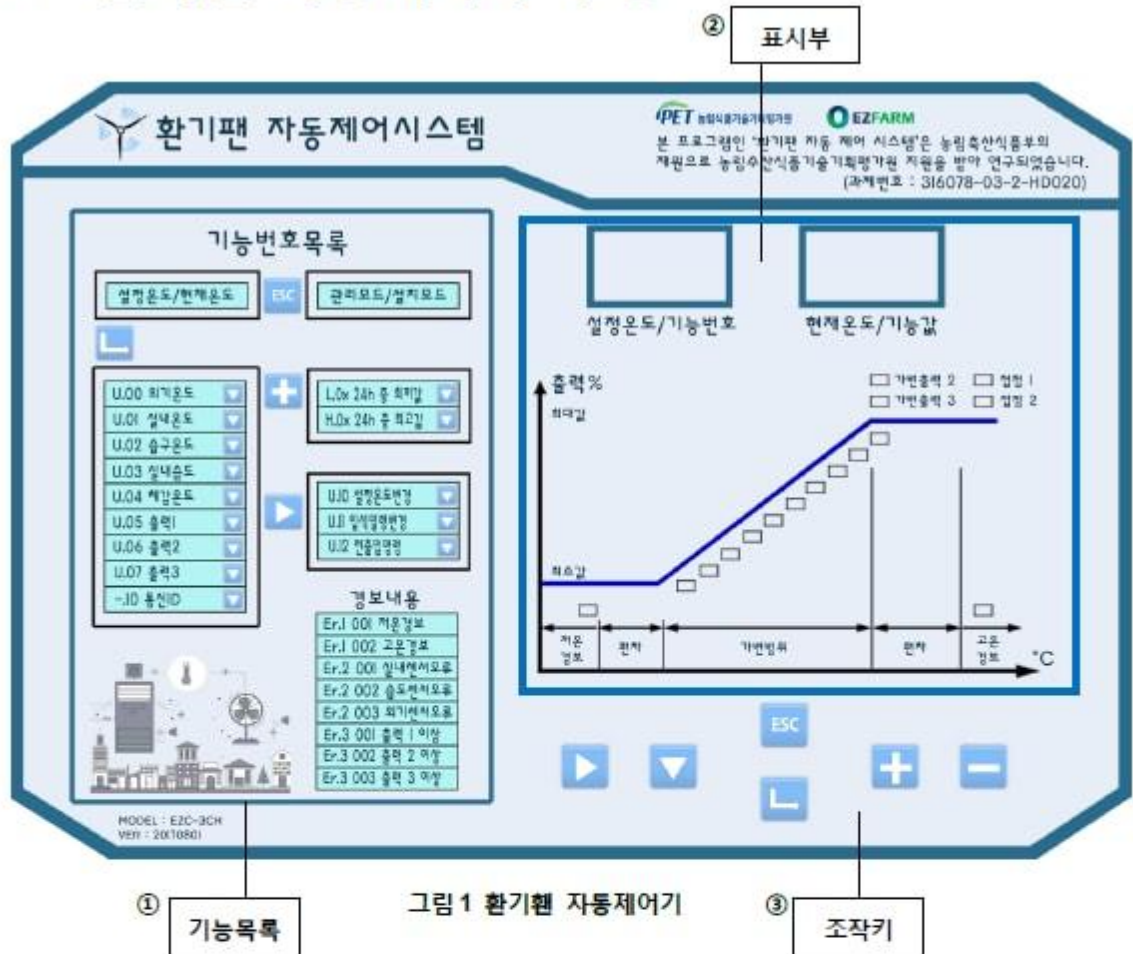
c.10 통신설치정보	+
c.11 통신모듈타입	+
c.12 통신모듈ID	+
c.20 통신설치정보	+
c.21 통신모듈타입	+
c.22 통신모듈ID	+

Ⓣ H/W 사양

분류		
전원	시스템	AC220V@1A, 60Hz
	제어출력	AC220V@40A, 60Hz(total output volume)
표시부	7"Segment LED	6digits(3digits + 3digits)
	Level Display	10 LEDs
	Status Indicator	6 LEDs
입력장치	6 keypad	Enter key, ESC/Select key Menu 이동 키 2keys +/- (증가/감소) 2keys
	Device ID Setting	8bits ID(CAN_ID 하위 8bits)
출력장치	AC220V 15A Phase-Control TRIAC Output	3channels
	AC220V 3A NO(Normal Open) Relay 접점	2channels
	TRIAC Output Detection	3ch, 각 channel 별
	Zero-cross-detection	Phase-Control, Relay on/off
Sensor Interface	4-wire 방식 NTC Thermistor(3kΩ) Interface	3channels (실온센서, 습구센서, 외기센서)
	측정온도 범위	-20~50℃
	측정오차	±0.3℃
통신포트	CAN 2.0B(Standard identifiers 11bits) Interface	
Real Time Clock(RTC) Interface	Backup Battery	
	56bytes Application Data Backup memory(이하 "설정메모리")	
시스템 경보 출력	Pulse Relay NO 2접점, 동시 동작	
Aux In/Output	Isolation 24V Digital Input	4channels
	Isolation 24V Digital Output	4channels
	현재 S/W를 지원하지 않는다.	
보조 통신포트	UART 1port	9600bps, 8bits Data, 1stop bit, non-parity
	현재 S/W를 지원하지 않는다	
기타	Buzzer 신호음 발생	

㉔ 환기팬 자동제어기 구성

1 환기팬 자동제어기 구성



① 기능목록

그림 1 환기팬 자동제어기

③ 조작키

- ① 기능목록 해당 모드에서 지원하는 기능목록
- ② 표시부 설정온도/현재온도, 현재 팬의 출력(%)
- ③ 조작키 제어기 조작하기 위해 필요한 키

1.1 표시부

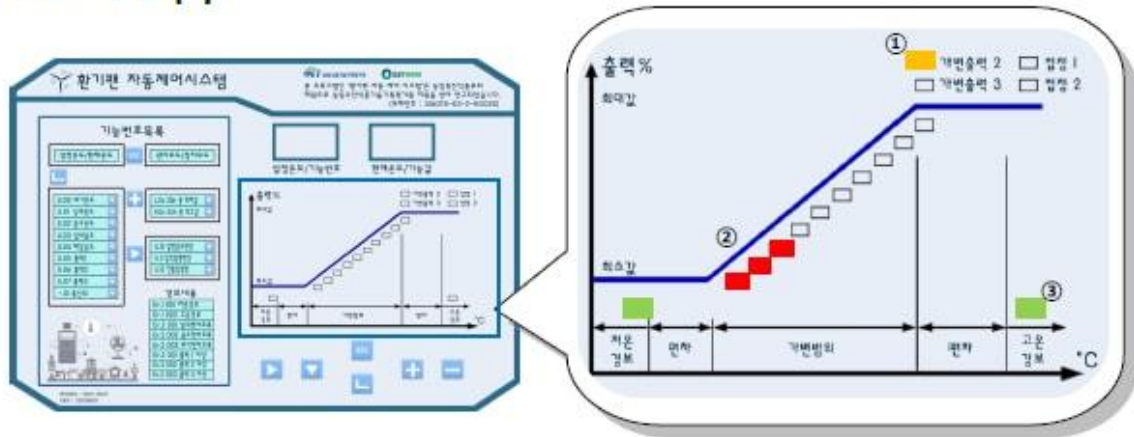


그림 2 환기팬 표시부

- ① ■ 가변출력은 팬의 출력, 접점은 Relay의 출력을 나타냅니다.
- ② ■ 팬의 출력은 %로 나타내며 출력단위는 10%입니다.
- ③ ■ 저온/고온에 대한 경보를 나타냅니다

* 구별을 위해 별도의 색으로 표시하였습니다. 실제 표시부는 동일한 색으로 표시됩니다.

1.2 조작키

- ① 모드 선택 또는 취소
- ② 화면 이동
- ③ 아래로 이동
마지막 항목에서 선택 시 다시 처음으로 이동
- ④ 길게 누를 경우 +, - 값을 입력할 입력모드로 전환
- ⑤ , 상세 값 증가, 감소

1.3 모드

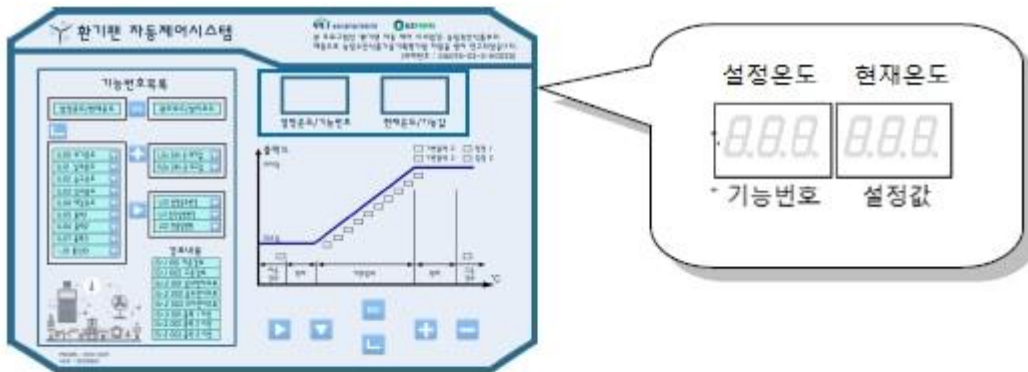


그림 3 환기팬 모드 설정

1.3.1 모드 종류

EZC-3CH 모델에서 제공하는 모드는 총 3 가지입니다.

작업자모드, 관리모드, 설치모드를 제공합니다.

1.3.2 모드 동작


기본 동작 시에서는 설정온도와 현재온도를 표시합니다.

모드 변경 후 표시부 상단에 해당 모드에서 제어할 수 있는 기능번호와 설정값을 표시합니다
오류발생시 오류메시지번호를 표시합니다. (부록 A.2 참고)


1.3.3 모드 변경




■ 작업자 모드

동작모드에서  를 입력하면 작업자모드로 변경됩니다.

■ 관리/설치모드

1)  을 길게 누르면 [Figure 1-4]와 같은 화면이 표시됩니다.



2)  를 누르며 전환하고자 하는 모드를 선택합니다.

관리모드의 경우,  으로 설정합니다.

설치모드의 경우,  으로 설정합니다.

3)  을 누릅니다.

4) 관리/설치모드에 접근하려면 모드선택 후 암호(page 5 참고)를 입력해야 합니다.

모드 설정값


모드	설정값
작업자	Default
관리	SEL __0
설치	SEL __1

1.3.4 암호 관리

운영자모드 또는 설치모드 선택 후 화면에 **000 000** 이 표시가 됩니다.

암호  를 입력한 후 **을** 누릅니다.


설정된 암호를 입력한 암호와 비교하여 맞으면 해당모드의 첫 화면을 표시하고 틀리면 오류메시지(**000 ERR.**)를 표시합니다.

암호를 틀린 경우  누르면 **000 000** 으로 전환되어 암호를 재입력할 수 있습니다.


암호오류 횟수는 제한이 없습니다.

설치모드와 운영자모드 암호는 개별적으로 설정해야 하며, 각 암호는 해당모드에서 변경이 가능합니다.

초기 암호는  입니다..

 키의 조합(3~5 키)으로 암호를 구성합니다.

1.3.5 동작모드로 전환

 누르면 기존 동작모드로 전환됩니다.


또는 5 분동안 키 입력이 발생하지 않을 경우 자동적으로 동작모드로 전환됩니다.

저장하지 않은 설정값은 reset 또는 전원 on/off 시 소실됩니다.

2 모드별 기능 관리.









2.1 작업자모드(User Mode) 기본 동작

농장의 작업자가 이용하는..모드이며 설정된 제어요소에 따른 단순 운용 모드입니다

동작모드에서  를 입력하면 작업자가 현재 실시간 동작값을 확인 할 수 있습니다. 작업자는 3 가지 기능(설정온도, 입식일령, 전출입명령)을 제어(변경)합니다. 오류 시 최상위 경보 1 개만 표시합니다. 별도 정의된 경보 없을 때, "Err. no"로 표시합니다.










* 오류메시지 'Er.N nnn' (부록 A.2 참고)



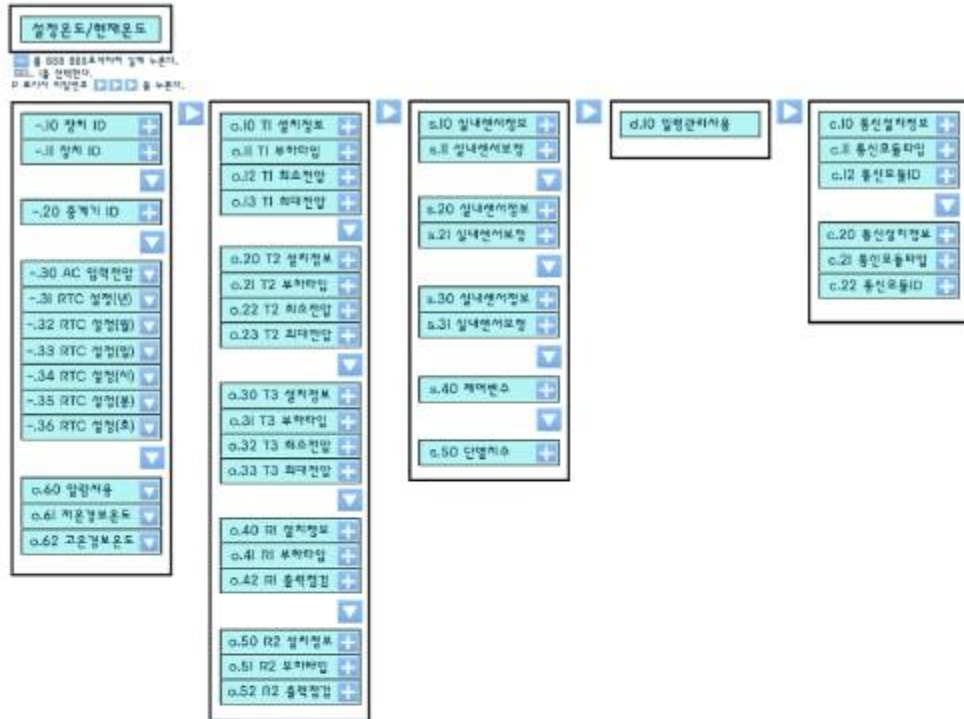
- 1) 정상 동작모드에서  눌러주세요
(기능번호와 현재 제어되는 동작값을 확인할 수 있습니다.)
- 2) 보고자하는 기능번호가 표시될 때까지  눌러 이동합니다..
 - 설정값을 확인할 경우  눌러주세요.
- 3) 설정값을 변경하고자 할 때에는.  눌러 화면을 전환합니다.
- 4)  눌러주세요.
- 5)   를 사용하여 제어값을 변경합니다.
- 6) 변경된 값으로 운영하기 위해  눌러주세요.

2.2 관리모드(Manager Mode) 기본 동작



- 1)  누른 후 'SEL 0' 으로 변경 합니다. (모드변경 '1.3.3 참고')
- 2)  눌러주세요.
- 3) 'P' 표시되면 비밀번호  누른 후  눌러주세요.
- 4) 화면 전환을 위해  눌러주세요. (각 그림의 첫번째 기능번호가 표시됩니다.)
- 5)  눌러서 설정하고자 하는 기능을 선택해주세요.
- 6) 설정하고자 하는 기능이 표시되면,  눌러주세요.
- 7)  를 사용하여 제어값을 변경합니다.
- 8)  눌러주세요. (변경된 제어값이 적용됩니다.)

2.3 설치모드(Device Setting Mode) 기본 동작



- 1) 눌러주세요. 'SEL 1' 으로 변경합니다. (모드변경 '1.3.3 참고')
- 2) 눌러주세요.
- 3) 'P' 표시되면 비밀번호 누른 후 눌러주세요.
- 4) 화면 전환을 위해 눌러주세요. (각 그림의 첫번째 기능번호가 표시됩니다.)
 을 눌러서 아래로 이동합니다.
 누르면 설정하고자 하는 상세기능으로 화면을 이동합니다.
- 5) 설정하고자 하는 기능이 표시되면, 를 눌러주세요.
- 6) 를 사용하여 제어값을 변경합니다.
- 7) 눌러주세요. (변경된 제어값이 적용됩니다.)

3 주요기능

3.1 일령관리

설치모드에서 일령관리 사용여부(1) 설정 후, 일령관리 기능을 사용하실 수 있습니다.

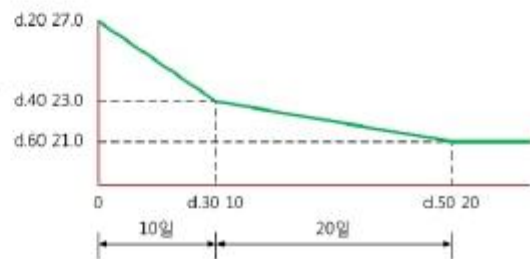
(제어기에 'd10' 표시가 되면 해당 설정값을 '1'로 변경)

관리모드에서 기능번호 d.11 ~ d.15 를 변경할 수 있습니다.

일령관리 그래프를 제공하며 그래프는 일령에 따라 설정온도가 산출됩니다.

분류	Setting Parameter	범위	초기설정	비고
일령관리	d.10 일령관리사용	0(미사용), 1(사용)		
	d.11 입식초기온도	10.0 ~ 35.5		
	d.12 온도변경날자	0~255		
	d.13 입식중기온도	10.0 ~ 35.5		
	d.14 온도변경날자	0~255		
	d.15 입식후기온도	10.0 ~ 35.5		
	U.11 입식일령변경			
	U.12 전출일령			

d.10 일령관리사용 : 1(사용)
 d.11 입식초기온도 : 27°C
 d.12 입식초기관리일령 : 10일
 d.13 입식중기온도 : 23°C
 d.14 입식중기관리일령 : 20일
 d.15 입식후기온도 : 21°C



일령관리 그래프

3.2 온도경보

이상온도에 대한 경보 사용유무 설정과 온도 기준값을 설정합니다.

분류	Setting Parameter	범위	초기설정	비고
온도경보	o.60 사용설정	0(미사용), 1(사용)	1	
	o.61 저온경보	10.0 ~ 35.5	15	단위 : ℃
	o.62 고온경보	10.0 ~ 35.5	32	단위 : ℃

3.3 시스템 설정

설치모드에서 시스템의 기본 정보를 설정합니다.

장치 ID는 장치에 있는 DIP스위치 정보와 일치하여야 합니다.

분류	Setting Parameter	범위	초기 설정	비고
Device Setting	_10 장치 ID,	0~255	0	CAN 통신 ID
	_20 증계기 ID	0~255	0	사용하지 않음
	_30 AC 입력전압	0~255	220	단위 : Vac
	_31 RTC 설정	년(01~99)	17	시스템 날짜 설정
	_32 RTC 설정	월(01~12)	1	
	_33 RTC 설정	일(01~31)	1	
	_34 RTC 설정	시(00~23)	1	
	_35 RTC 설정	분(00~59)	0	
	_36 RTC 설정	초(00~59)	0	

* RTC : Real Time Clock

일령관리 사용시 기준시간으로 사용되므로 장치설치 시 설정하는 것을 권장하며 일령관리 중에 변경하는 것을 피해야 합니다. 일령관리 중 변경시 "입식일령"을 변경해 줘야 합니다. 일령관리를 사용할 때 일령변경은 입식시간과 관계없이 자정을 기준으로 이루어지며, 설정 온도변경은 정오를 기준으로 이루어집니다.

3.4 출력단자 설정

출력을 제어하기 위한 값을 설정할 수 있습니다.

분류	Setting Parameter	범위	초기설정	비고	
1 번 TRIAC Setting	o.10 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1		
	o.11 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0		
	o.12 부하타입	0(음(-) 부하:Fan)	0		
		1(양(+))부하:Heater)			
	o.13 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최소출력전압	
	o.14 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최대출력전압	
	F.10 현재출력			단위 : %	
	F.11 기준값 설정(T_{set})	10.0 ~ 35.5	23	단위 : °C, TRIAC00	
	F.12 가변값 범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : °C	
	F.13 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최소출력	
F.14 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최대출력		
2 번 TRIAC Setting	o.20 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1		
	o.21 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0		
	o.22 부하타입	0(음(-) 부하:Fan)	0		
		1(양(+))부하:Heater)			
	o.23 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최소출력전압	
	o.24 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최대출력전압	
	F.20 현재출력			단위 : %	
	F.21 설정값 편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	3.0(26.0) /6.0(29.0)	단위 : °C, TRIAC01/TRIAC02	
	F.22 가변값 범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : °C	
	F.23 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최소출력	
F.24 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최대출력		
3 번 TRIAC Setting	o.30 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1		
	o.31 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0		
	o.32 부하타입	0(음(-) 부하:Fan)	0		
		1(양(+))부하:Heater)			
	o.33 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최소출력전압	
	o.34 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최대출력전압	
	F.30 현재출력			단위 : %	
	F.31 설정값 편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	3.0(26.0)/6. 0(29.0)	단위 : °C, TRIAC01/TRIAC02	
F.32 가변값 범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : °C		

분류	Setting Parameter	범위	초기설정	비고
	F.33 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최소출력
	F.34 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최대출력
1 번 Relay Setting	o.40 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.41 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.42 부하타입	0(음(-) 부하:Fan)	0	
		1(양(+))부하:Heater)		
	o.43 출력테스트	0(off), 1(on)	0	test only
	F.41 기준값 설정(Δt)	10.0 ~ 35.5	23	단위 : $^{\circ}\text{C}$, RELAY00
F.42 동작값 편차(Δt)	0.0 ~ 12.7	1	단위 : $^{\circ}\text{C}$	
2 번 Relay Setting	o.50 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.51 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.52 부하타입	0(음(-) 부하:Fan)	0	
		1(양(+))부하:Heater)		
	o.53 출력테스트	0(off), 1(on)	0	test only
	F.51 설정값 편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	2.0(25.0) /3.0(26.0)	단위 : $^{\circ}\text{C}$, RELAY00/RELAY01
F.52 동작값 편차(Δt)	0.0 ~ 12.7	1	단위 : $^{\circ}\text{C}$	

설치정보	장치에 설치되어 있는지 설정 미설치(0)/설치(1)
사용정보	설치된 장치를 사용할 것 인지를 설정 미사용(0)/사용(1)
부하타입	설정값보다 현재값이 올라갈 때 동작시킬지 떨어질 때 동작시킬지를 결정. 팬의 경우 설정값보다 높아지면 전원이 공급되어 팬이 구동하고 히터의 경우 설정온도 보다 현재값이 떨어지면 전원을 공급하여 히터를 동작하게 한다.
최소출력전압	팬 동작에 필요한 최소전압을 설정. 최소 전압이 0%에 해당하게 된다. 팬 특성에 따라 최소한 공급되어야 할 최소 전압이 조절되어야 한다. 최소전압이 부족할 경우 모터에 무리가 가게되어 모터가 손상될 수 있다.
최대출력전압	팬 구동 최대 전압을 설정한다. 100%에 해당한다.
현재출력	현재 출력되고 있는 전압의 상태를 나타낸다. 설정하지는 않는다.
기준값설정(Tset)	1번 출력포트(트라이악 1번, 릴레이 1번)의 기준 값을 설정한다. 포트의 동작 설정 값이다.
설정값 편차(Δt)	1번 출력포트에 설정된 값을 기준으로 2,3번 출력포트의 설정값을 결정한다. 기준값 + 편차가 해당 포트의 설정값이 된다.
가변값 범위(Δt)	트라이악의 경우 가변값은 설정된 최대 출력에 도달하는 차이이다. 즉 기준값에서 편차를 더한 온도에 도달하는 경우 최대출력의 전압을 출력하게 된다. 릴레이의 경우 설정된 값의 지면 값 설정으로 동작한다. 설정값에서 \pm 편차 만큼 여유를 두어 동작과 정지한다.
최소출력	현재값이 기준값에 도달했을 때 몇%의 전압을 출력할 것인지 결정한다. 단위는 %이며 설정값 이하일 때 0이면 정지하는 것이고 10%이상이면 설정된 %의 전압을 출력한다.
최대출력	현재값이 기준값 + 설정값 편차 이상이 될 때 출력할 전압의 %이다.

㉞ 지원기능

A.1 지원기능 목록

분류	Setting Parameter	범위	초기 설정	비고
Device Setting	_10 장치ID,	0~255	0	CAN 통신ID
	_11 장치ID,			
	_20 중계기ID	0~255	0	CAN 통신ID
	_30 AC입력전압	0~255	220	단위 : Vac
	_40 RTC설정	년(0~99), 월/일/시(0~23)/분/초	11-01-01	Real Timer Clock
	_41 RTC설정		11	
	_42 RTC설정		01	
	_43 RTC설정		01	
	_44 RTC설정		00	
1번 TRIAC Setting	o.10 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.11 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.12 부하타입	0(음(-) 부하:Fan), 1(양(+) 부하 : Heater)	0	
	o.13 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최대출력전압
	o.14 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최소출력전압
	F.10 현재출력			단위 : %
	F.11기준온도설정(T _{set})	10.0 ~ 35.5	23	단위 : ℃, TRIAC00
	F.12 가변온도범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : ℃
	F.13 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최대출력
	F.14 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최소출력
2번 TRIAC Setting	o.20 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.21 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.22 부하타입	0(음(-) 부하:Fan), 1(양(+) 부하 : Heater)	0	

분류	Setting Parameter	범위	초기 설정	비고
	o.23 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최대출력전압
	o.24 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최소출력전압
	F.20 현재출력			단위 : %
	F.21 설정온도편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	3.0(26.0)/6.0(29.0)	단위 : $^{\circ}C$, TRIAC01/TRIAC02
	F.22 가변온도범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : $^{\circ}C$
	F.23 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최대출력
	F.24 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최소출력
3번 TRIAC Setting	o.30 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.31 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.32 부하타입	0(음(-) 부하:Fan), 1(양(+) 부하 : Heater)	0	
	o.33 최소출력전압	0 ~ 255	45	단위 : Vac, < 최대출력전압
	o.34 최대출력전압	0 ~ 255	220	단위 : Vac, > 최소출력전압
	F.30 현재출력			단위 : %
	F.31 설정온도편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	3.0(26.0)/6.0(29.0)	단위 : $^{\circ}C$, TRIAC01/TRIAC02
	F.32 가변온도범위(Δt)	0.0 ~ 12.7	3	단위 : $^{\circ}C$
	F.33 최소출력	0, 10 ~ 100	10	단위 : %, < 최대출력
	F.34 최대출력	0, 10 ~ 100	100	단위 : %, > 최소출력
1번 Relay Setting	o.40 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	
	o.41 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.42 부하타입	0(음(-) 부하:Fan), 1(양(+) 부하 : Heater)	0	
	o.43 출력테스트	0(off), 1(on)	0	test only
	F.41 설정온도편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	2.0(25.0)/3.0(26.0)	단위 : $^{\circ}C$, RELAY00/RELAY0 1
	F.42 동작온도편차(Δt)	0.0 ~ 12.7	1	단위 : $^{\circ}C$
2번	o.50 설치정보	0(미설치), 1(설치)	1	

분류	Setting Parameter	범위	초기 설정	비고
Relay Setting	o.51 사용정보	0(미사용), 1(사용)	0	
	o.52 부하타입	0(음(-) 부하:Fan), 1(양(+) 부하 : Heater)	0	
	o.53 출력테스트	0(off), 1(on)	0	test only
	F.51 설정온도편차(Δt)	-12.7 ~ +12.7	2.0(25.0)/3.0(26.0)	단위 : $^{\circ}C$, RELAY00/RELAY01
	F.52 동작온도편차(Δt)	0.0 ~ 12.7	1	단위 : $^{\circ}C$
온도경보	o.60 사용설정	0(미사용), 1(사용)	1	
	o.61 저온경보	10.0 ~ 35.5	15	단위 : $^{\circ}C$
	o.62 고온경보	10.0 ~ 35.5	32	단위 : $^{\circ}C$
일령관리	d.10 일령관리사용	0(미사용), 1(사용)		
	d.11 입식초기온도	10.0 ~ 35.5		
	d.12 온도변경날자	0~255		
	d.13 입식중기온도	10.0 ~ 35.5		
	d.14 온도변경날자	0~255		
	d.15 입식후기온도	10.0 ~ 35.5		
	U.11 입식일령변경			
	U.12 전출입명령			

A.2 오류메시지 (Er.N nnn).

동작오류가 발생시 표시부에 LED Indicator 가 점멸하며 해당 오류메세지를 표시합니다..

별도 정의된 경보 없을 때, "Err. no"로 표시합니다.

■ Er.N: Error Number

N	오류
0	시스템/통신오류
1	온도경보
2	센서오류
3	TRIAC 출력오류

■ nnn : 오류번호

N	nnn	내용
0	1	시스템 시작이 정상적으로 이루어 지지 않았을 경우발생 한다.(예. 설정값 로드 오류)
	2	CAN 통신 오류
	4	일령 오류. RTC 가 비정상적으로 설정되거나 관련설정 값이 잘못되었을 경우 발생한다.
	3(1+2)	시스템 오류 + CAN 통신 오류
	5(1+4)	시스템 오류 + 일령 오류
	6(2+4)	CAN 통신 오류 + 일령 오류
	7(1+2+4)	시스템 오류 + CAN 통신 오류 + 일령 오류
1	1	저온경보 발생
	2	고온경보 발생
2	1	내기온도센서 오류
	2	습기온도센서 오류
	4	외기온도센서 오류
	3(1+2)	내기온도센서 오류 + 습기온도센서 오류
	5(1+4)	내기온도센서 오류 + 외기온도센서 오류
	6(2+4)	습기온도센서 오류 + 외기온도센서 오류
	7(1+2+4)	내기온도센서 오류 + 습기온도센서 오류 +

N	nnn	내용
		외기온도센서 오류
3	1	TRIAC00 출력 오류
	2	TRIAC01 출력 오류
	4	TRIAC02 출력 오류
	3(1+2)	TRIAC00 출력 오류 + TRIAC01 출력 오류
	5(1+4)	TRIAC00 출력 오류 + TRIAC02 출력 오류
	6(2+4)	TRIAC01 출력 오류 + TRIAC02 출력 오류
	7(1+2+4)	TRIAC00 출력 오류 + TRIAC01 출력 오류 + TRIAC02 출력 오류

(다) 연구수행 결과

- ① 환기 제어 시스템은 기존 베이스보드에 센서 측정용 채널을 추가하여 내부 온/습도만 측정하여 제어하던 방식에서 내/외부의 온/습도를 측정하여 제어하는 방식으로 변경되었으며 서울대에서 개발한 제어 알고리즘을 적용할 수 있게 되었음. 또한 교체할 수 없었던 외부 점점 제어용 릴레이를 소켓타입의 릴레이로 개선함으로써 릴레이 교체가 쉬어졌으며 다양한 데이터 전송 방식(Wifi, LoRa, Ethernet 등)을 지원하기 위하여 센서박스를 개발하였으며 환기제어기 serial 통신을 받아 지원통신 방식으로 전송이 가능해 짐
- ② 위탁연구기관인 서울대에서 개발한 환기 개선 알고리즘을 적용으로 엔탈피를 활용한 기존 환기량 측정을 적용하여 내외부 온/습도 데이터를 습득 비교하는 알고리즘을 적용함으로써 환기량 제어를 효율적으로 제어할 수 있게 됨
- ③ 환기 제어 관련 데이터를 수집하고 양돈 전산관리 시스템과 연계하여 수집된 데이터를 빅데이터 기반 수집 및 분석 시스템에서 시각화하여 내 농장의 상황을 파악할 수 있도록 하여 환경 기반 사양 분석의 토대를 구축하였음
- ④ 환기제어 시스템 사업화를 위해 기술료 감면 신청을 통한 기술실시를 진행하였으며 축산 환기제어 전문 업체인 (주)지원에 기술이전을 실시하여 사업화를 준비하고 있음

2장 연구수행 내용 및 결과 (2-3. 이화여자대학교)

1절 연구 수행 내용

1. 1차년도

가. 연구 수행 내용

- 경구 투여용 센서 온도 측정 기능 고도화 개발

나. 세부 수행 일정

연구내용	추진일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발												

2. 2차년도

가. 연구 수행 내용

- 경구 투여용 센서 태그 pH 측정 기능 고도화 개발
- 로그 박스 통신 모듈 고도화 개발

나. 세부 수행 일정

연구내용	추진일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
축우 반추위 pH 센싱 기술 동향 분석 및 사용 제품 분석												
센서 태그 내 pH 측정 기능 고도화												
로그박스 통신 모듈 고도화 개발												

3. 3차년도

가. 연구 수행 내용

- 낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 실증
- 빅데이터 수집 및 생체 정보 분석 연구

나. 세부 수행 일정

연구내용	추진일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

시험 농가 선정 및 테스트 베드 시험 진행													
젓소 및 한우 생체 정보 빅데이터 수집													
생체정보 수집 및 통계 분석 연구 실시													

2절 연구 개발 결과







1. 1차년도

가. 개발 목표

[대동물 사료섭취효율조사기와 위의 상태 모니터링 시스템 개발 및 기존 환기시스템의 효율성 조사 분석]

-참여연구기관(이화여자대학교): 경구 투여용 센서 태그 온도 측정 기능 고도화

나. 개발 내용 및 범위

연구내용	세부 내용																																	
낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발	<input type="checkbox"/> 경구 투여용 센서 태그 온도 측정 기능 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 센서태그 디자인 : 생체 적합한 원통형으로 금형 제작 - 센서태그 재질 : 무독성 플라스틱으로 제작 - 센서태그 사이즈: 전체 사이즈 110mm로 축소 - 배터리 수명 : 약 5년 이상 - 배터리 종류 : Lithium-ion 타입 - 온도 데이터 인식 거리 : 100m (원거리 통신) - 온도 측정 범위 : -40℃~+80℃ 																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>스펙</th> <th>기존 바이오캡슐</th> <th>고도화 개발 바이오캡슐</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>이미지</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>크기</td> <td>전체 길이 120mm, 내경 28mm, 두께 2mm</td> <td>전체길이 110mm, 내경 22mm, 두께 2mm (원통형)</td> </tr> <tr> <td>재질</td> <td>사탕수수 100%</td> <td>옥수수 + 사탕수수 100% 바이오플라스틱</td> </tr> <tr> <td>전송거리</td> <td>100M</td> <td>500M~1000M</td> </tr> <tr> <td>전송주기</td> <td>10분 단위</td> <td>1분 단위</td> </tr> <tr> <td>저장메모리</td> <td>없음</td> <td>기본</td> </tr> <tr> <td>배터리 종류</td> <td>일반</td> <td>Lithium-ion</td> </tr> <tr> <td>배터리 수명</td> <td>4년(MAX)</td> <td>5년(MAX)</td> </tr> <tr> <td>온도센서</td> <td>기본</td> <td>기본</td> </tr> <tr> <td>pH센서</td> <td>옵션</td> <td>기본</td> </tr> </tbody> </table>	스펙	기존 바이오캡슐	고도화 개발 바이오캡슐	이미지			크기	전체 길이 120mm, 내경 28mm, 두께 2mm	전체길이 110mm, 내경 22mm, 두께 2mm (원통형)	재질	사탕수수 100%	옥수수 + 사탕수수 100% 바이오플라스틱	전송거리	100M	500M~1000M	전송주기	10분 단위	1분 단위	저장메모리	없음	기본	배터리 종류	일반	Lithium-ion	배터리 수명	4년(MAX)	5년(MAX)	온도센서	기본	기본	pH센서	옵션	기본
	스펙	기존 바이오캡슐	고도화 개발 바이오캡슐																															
	이미지																																	
	크기	전체 길이 120mm, 내경 28mm, 두께 2mm	전체길이 110mm, 내경 22mm, 두께 2mm (원통형)																															
	재질	사탕수수 100%	옥수수 + 사탕수수 100% 바이오플라스틱																															
	전송거리	100M	500M~1000M																															
	전송주기	10분 단위	1분 단위																															
	저장메모리	없음	기본																															
	배터리 종류	일반	Lithium-ion																															
배터리 수명	4년(MAX)	5년(MAX)																																
온도센서	기본	기본																																
pH센서	옵션	기본																																
<p><고도화 개발 예정인 경구투여용 온도&pH 센서태그 사양></p>																																		

비교항목	유라이크코리아	유사경쟁기술1 (우보시스템)	유사경쟁기술2 (소온트)	유사경쟁기술3 (SCR H-LD)
센서 타입	온도 및 pH 센서를 접목한 바이오캡슐	만보계를 장착한 발목 밴드	온도센서를 탑재한 질 내 삽입형 센서	목걸이형
센서 동작 위치	경구 투여하여 반추위 내 위치	발목에 장착	질 내 삽입	목에 장착
센서 내구성	위치 변동없이 반추위 내에 위치함 * 한번 경구투여시 5년 이상 사용이 가능해 축우의 lifecycle에 적합함	축우의 움직임에 따라 파손 및 탈락 위험이 큼	분만 임박 시 파수에 의해 센서가 배출됨 (일회)	축우의 움직임에 따라 파손 및 탈락 위험이 큼
수집 가능한 데이터 정보	심부 온도, pH	움직임, 걸음 패턴	온도	움직임
데이터 신뢰성	높음 (외부 환경 영향받지 않음)	낮음 (외부 환경 영향이 큼)	높음 (외부 환경 영향받지 않음)	낮음 (외부 환경 영향이 큼)
기능	질병 예방, 발정 탐지, 수정 적기 예측, 분만 파악, 개체 관리 기능	발정 탐지, 수태율, 분만 감경, 경자 제공 정보 파악, 열통관리	체온 이상 토대로 분만, 간단한 질병 체크 가능	발정, 건강, 분만, 영양상태 체크
개발 국가	대한민국	일본	일본	이스라엘

<기존 도입된 외산 제품과의 기술적 차별성>

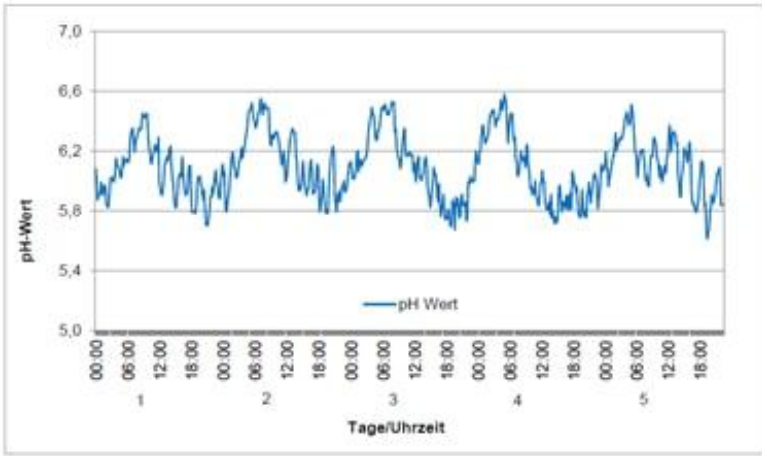
2. 2차년도

가. 개발 목표

[양돈용 사료섭취효율조사기와 위의 상태 모니터링 시스템 개발 및 다점 측정 및 차별적 운영을 위한 환기 시스템 개선 기술 개발]

- 참여 연구 기관(이화여자대학교):
- 경구 투여용 센서 태그 pH 측정 기능 고도화
- 로그 박스 통신 모듈 고도화
- 통합 관리 프로그램 고도화

나. 개발 내용 및 범위

연구내용	세부내용
낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발	<input type="checkbox"/> 경구 투여용 센서 태그 pH 측정 기능 고도화  <p style="text-align: center;"><축우 반추위 내 pH 농도 그래프 예시></p>

	성능 목표	성능 평가 기준
	생체정보 통계 기술	가축의 체온 및 pH 통계가 95% 정확한지에 관한 통계 추출/확인
	실시간 검증 기술	실시간 검증 시 95% 이상의 상태 예측 가능 여부 확인
	온도 및 pH 정확도	실시간 감지되는 가축의 체온 및 pH가 100% 정확한지에 관한 결과값 추출/ 확인
	Battery life	배터리 수명이 5년 이상인지 확인
	생체적합성	낙농우에 생체적으로 적합하지 여부를 확인
<고도화 개발 완료된 센서 태그의 성능 목표 지표>		
통합 관리 프로그램 설계 및 개발	<input type="checkbox"/> 로그박스 통신모듈 고도화 - 온도 & pH 센서 태그로부터 데이터를 수집하는 로그박스 통신 모듈 시스템 고도화 <input type="checkbox"/> 통합관리 프로그램 고도화 -농장 DB/개체정보 DB/개체센서 DB 설계 -Web/App/SMS Server 구성	

3. 3차년도

가. 개발 목표

[현장 실증 및 사업화]

- 참여 연구 기관(이화여자대학교):
- 낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 실증
- 빅데이터 수집 및 생체 정보 분석 연구

나. 개발 내용 및 범위

연구내용	세부내용
낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 실증 및 빅데이터 수집	<input type="checkbox"/> 낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 실증 - 시범 농가 설치 및 테스트베드 시험 진행  < 농장 전경 >

	<input type="checkbox"/> 빅데이터 수집 및 생체정보 분석 연구 - 지역/개체 별 생체정보 빅데이터 수집 - 수집된 생체정보의 다양한 상태 정보 분석 및 통계연구
--	--

3절 연구 개발 결과

1. 연구개발 성과 및 평가 방법

가. 연구개발 성과

- 낙농우의 위내 온도 및 pH 측정을 위한 경구 투여용 바이오 캡슐과 통신 모듈, 제어 관리 프로그램 고도화 개발
- 시스템 실증을 통한 농가 활용성 평가 및 활용 방안 마련

나. 성능 평가 지표

- 각 항목 별 정량적 목표 항목을 기준으로 달성 여부 평가

정량적 목표 항목	평가의 착안점 및 기준
1. 농가 적용성	농가의 의견을 100% 반영하여, 농가 설치 시 인터넷 및 전원 공급 여부, 농가의 시설에 큰 불편 없이 적용 가능한 수준인지 확인
2. 생체정보 통계 기술	가축의 체온 및 pH 통계가 95% 이상 정확한지 통계 추출 및 확인
3. 실시간 검증 기술	실시간 검증 시 95% 이상 예측 가능하였는지 확인
4. 온도 및 pH 정확도	실시간 감지되는 가축의 체온이 100% 정확한지에 관한 통계 추출 및 확인
5. Battery 수명	배터리 수명이 5년 이상 유지 되었는지 확인
6. 생체적합성	낙농우에 생체적으로 적합한지 여부 확인
7. 만족도 평가	농장주 만족도 100% 달성 확인 및 실제 사용 여부 체크

<성능 평가 지표>

2. 연차 별 세부 목표 및 달성 현황

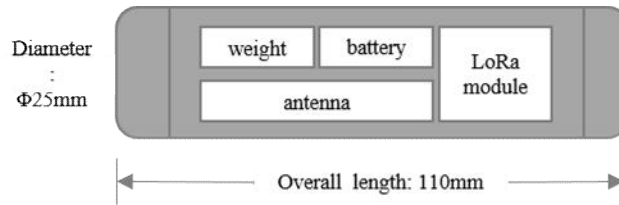
가. 1차년도

1) 세부 연구목표

- 경구 투여용 센서 태그 온도 측정 기능 고도화

2) 연구개발 수행 내용

- 센서 태그 온도 측정 기능 고도화 개발
- 센서는 원통형 모양으로 제작되어 경구 투여 방식으로 소 체내에 삽입되며 실시간으로 반추위 온도를 측정함
- 데이터 전송거리: 최대 1km((원거리 통신 지원)
- 전송 주기: 일별 최대 8회
- 배터리: 내장형(Lithium-ion battery),
- 태그 수명: 최대 7년
- 체내 안정적인 정착 및 이탈 방지를 위한 무게추 내장



< 센서 구성도 >

3) 연구 결과

- 온도 측정 센서 사양 확정 및 고도화 개발 완료

항목	내용
센서 외형	
크기	110mm
재질	옥수수 및 사탕수수 (바이오플라스틱 100%)
측정 단위	℃
측정 범위	-40~+80
측정 주기	10분 간격

4) 목표 달성 여부

- 경구 투여용 센서 태그 온도 측정 기능 고도화: 100% 개발 완료
- 성능 평가 지표 활용 평가(1차년도 항목: 2, 3, 4, 5, 6)

정량적 목표 항목	평가	목표 항목 달성 여부
2. 생체정보 통계 기술	축우의 체온 측정 결과가 기존 온도 측정 방법 대비 외부 환경의 영향을 받지 않아 정확한 측정이 가능하였음.	달성
3. 실시간 검증 기술	특정 시점의 체온을 예측하기 위해 일정시간 단위의 체온 패턴을 분석하였음.	달성
4. 온도 및 pH 정확도	10분 간격으로 축우의 체온을 측정하여 실시간 체온 모니터링이 가능하였음.	달성
5. Battery 수명	배터리 방전 관련 내부 테스트 결과 5년 이상 지속 가능할 것으로 예측하였음.	달성
6. 생체적합성	경구 투여로 삽입된 센서는 축우의 특별한 거부 반응 없이 정확한 체온 측정이 가능한 것을 확인하였음.	달성

나. 2차년도

1) 세부 연구목표

- 경구 투여용 센서 태그 pH 측정 기능 고도화
- 로그박스 통신 모듈 고도화

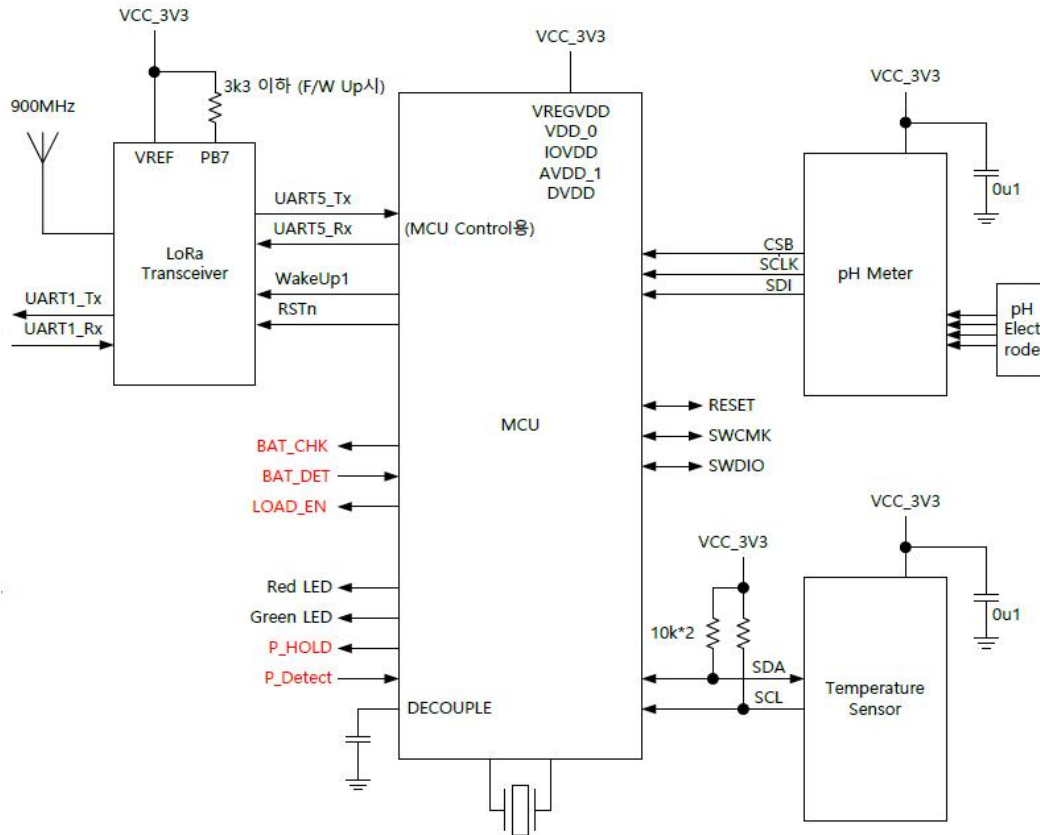
2) 연구개발 수행 내용

- 축우 반추위 pH 센싱 기술 동향 분석

항목	내용 및 한계점	
기존 pH 측정 방법	구강 튜브	타액으로 인한 오염이 있을 수 있어 측정이 정확하지 않음.
	캐놀라 기술을 통한 센서 직접 투입	캐놀라 기술을 해야 하므로 측수에게 불필요한 기술을 가용함. 가축의 이동을 금지하거나 테더링 된 가축에게만 측정이 가능한 한계점이 있음.
상용 pH 모니터링 시스템	미국 Dascor™	pH 측정을 위한 Logger을 삽입하여 pH 변화를 측정함. 센서 크기가 커 사용이 불편함.
	영국 eBolus	경구 투여식 센서, 측수 별집위에 센서를 장착하여 1분 간격으로 pH 측정

□ 기존 경구 투여용 센서 태그에 pH 측정 기능 추가

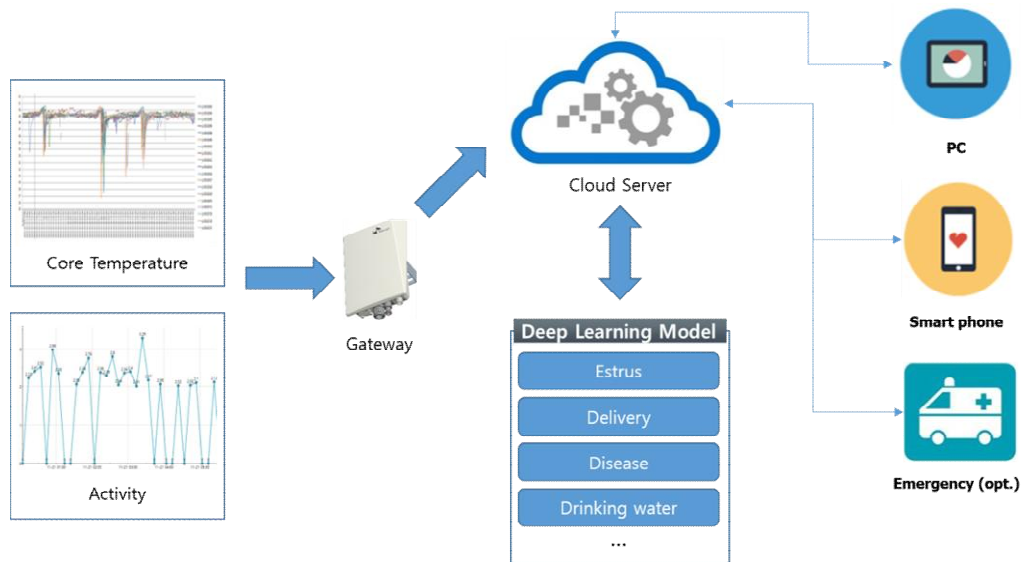
- 측수의 반추위 산화도를 측정할 수 있는 pH 센서 기능 개발
- 기존 MCU에 pH Meter 기능 추가
- 센서 성능 테스트 수행



< 센서 구성도 >

□ LoRa Gateway 통신 방식을 적용하여 로그박스 통신 모듈 고도화 개발


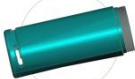
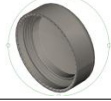

- 기존 WiFi 방식에서 최대 1km까지 인식 가능한 LoRa 통신 모듈 적용
- 대규모 사육 농장에서 데이터 유실 없이 측정 데이터 전송이 가능함.



< LoRa 통신 모듈을 활용한 측정 데이터 전송 과정 >

3) 연구 결과

- pH 센서 기능 사양 확정 및 개발 완료

항목	내용	
pH 센서 주요 부품	pH 캡슐 바디 캡	
	pH 캡슐 바디	
	pH 캡슐 캡	
	pH 캡슐 케이스	
측정 단위	pH	
Range	0-14	
Response Time	95% in 1s	
Connector	SMA	
Life expectance	1.5 years	

- 로그박스 통신 모듈 고도화 개발 완료

항목	내용
로그박스 통신 모듈	
크기	100mm * 100mm
통신방식	LoRa Gateway
센서 인식 거리	1km
전원	200v
탑재 모뎀	LTE 모뎀

4) 목표 달성 여부

- 경구 투여용 센서 태그 pH 측정 기능 고도화: 100% 개발 완료
- 로그박스 통신 모듈 고도화: 100% 개발 완료
- 성능 평가 지표 활용 평가(2차년도 항목: 2, 3, 4, 5, 6)

정량적 목표 항목	평가	목표 항목 달성 여부
2. 생체정보 통계 기술	경구 투여 센서로 반추위 pH를 측정하는 방법이 기존 측정 방법 대비 타액이나 외부 물질의 유입으로 인한 오염이 발생하지 않아 정확한 측정이 가능한 것을 확인하였음.	달성
3. 실시간 검증 기술	특정 시점의 pH를 예측하기 위해 일정시간 단위의 pH 패턴을 분석하였음.	달성
4. 온도 및 pH 정확도	10분 간격으로 축우의 반추위 pH를 측정하여 실시간 모니터링이 가능한 것을 확인함.	달성
5. Battery 수명	배터리 방전 관련 내부 테스트 결과 5년 이상 지속 가능할 것으로 예측하였음.	달성
6. 생체적합성	경구 투여로 삽입된 센서는 축우의 특별한 거부 반응 없이 정확한 pH 측정이 가능한 것을 확인하였음.	달성

다. 3차년도

1) 세부 연구목표

- 낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 실증
- 빅데이터 수집 및 생체정보 분석 연구

2) 연구개발 수행 내용

시범농가 설치 및 테스트베드 시험 진행

- 시범 농가 정보

>주소: 경상남도 산청군 금서면 특리 440-2

>대표: 양현덕

>사육 규모: 젖소/한우 119 개체 (캡슐투여개체 108개체)

>ICT 기자재 현황 : livecare 센서, 자동급이장치(Delaval 제품), 자동포유기(Delaval 제품)



<시험 농가 전경>



<농가에 설치된 로그 박스 통신 모듈>

- 시험 일정

연구내용	추진일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
시험 농가 선정												
측정을 위한 ICT 기자재 설치												
농장주 및 관리자에게 측정 프로세스 교육												

실험 대상 선정 및 센서 투여												
반추위 체온 및 pH 측정												
측정 데이터 분석 및 통계 연구												

성능 보증 및 업그레이드 실시

- 캡슐 투여 후 최대 5년간 보증 및 업그레이드 실시
- 온도, pH 측정 센서는 최대 1년간 무상 보증

지역/개체 별 생체정보 빅데이터 수집

- 센서를 통해 측정된 생체 정보를 지역/개체별 데이터베이스에 저장하여 관리.
- 개체별 편차로 인한 오류 방지

수집된 생체정보의 다양한 상태 정보 분석 및 통계 연구

- 센서를 통해 측정된 체온 패턴 정보를 통해 축우의 질병, 분만 시점, 발정 등을 파악
- 센서를 통해 측정된 pH 패턴은 축우의 급이 현황 및 과산증 등의 질병을 예측할 수 있음.

3) 연구 결과

- 시범 농가 축우에 경구용 센서 투여 완료
- 축우에 특별한 거부 반응이나 부작용을 보이는 축우는 없었음.

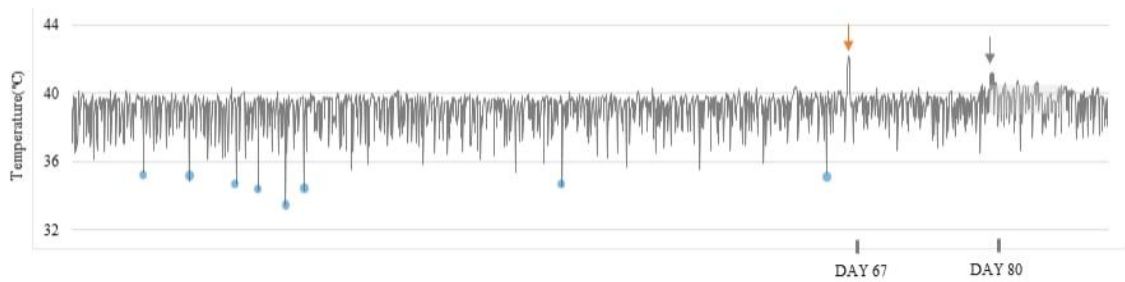


<측정 센서>

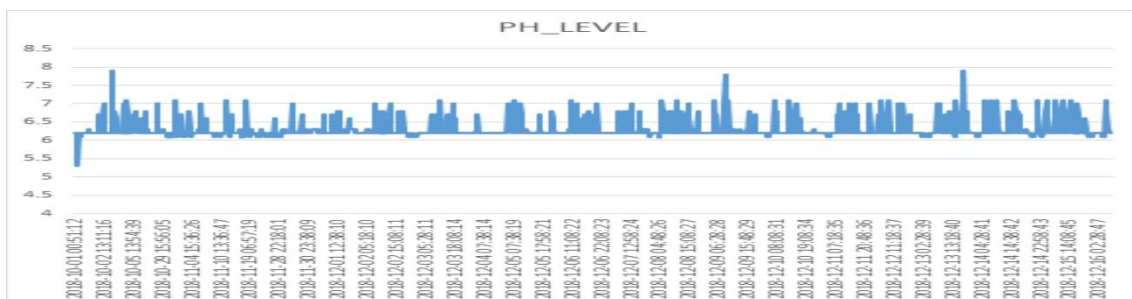


<센서 투여 모습>

- 투여된 센서를 통해 10분 간격으로 반추위 체온 및 pH 데이터 측정

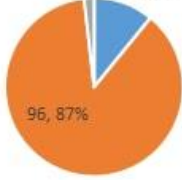
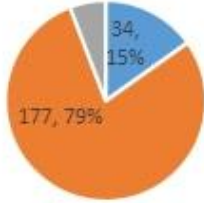
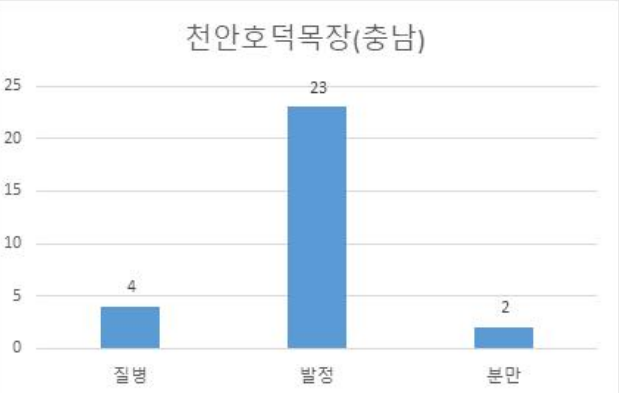
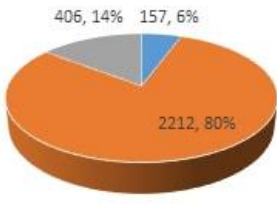


<센서를 통해 측정된 체온 데이터 그래프>



<센서를 통해 측정된 pH 데이터 그래프>

- 측정 데이터의 개체/농장/지역별 분류 후 빅데이터 분석 실시

분석 항목	그래프 예시	분석												
지역별 빅데이터 분석	<p style="text-align: center;">경기</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>분류</th><th>건수</th><th>비율</th></tr> <tr><td>분만</td><td>2</td><td>2%</td></tr> <tr><td>발정</td><td>96</td><td>87%</td></tr> <tr><td>질병</td><td>12</td><td>11%</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">■ 분만 ■ 발정 ■ 질병</p>	분류	건수	비율	분만	2	2%	발정	96	87%	질병	12	11%	<p>2018년 12월~ 2019년 1월까지 경기 지역에서 발생한 분만, 발정, 질병은 발생 건수는 전체 110건이었으며, 그중 발정이 96건으로 전체 87%를 차지 하였다. 그리하여 발정 시점 예측을 해당 지역에서는 좀 더 정확하고 원활하게 이루어 질 필요가 있음.</p>
	분류	건수	비율											
분만	2	2%												
발정	96	87%												
질병	12	11%												
<p style="text-align: center;">경남</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>분류</th><th>건수</th><th>비율</th></tr> <tr><td>분만</td><td>13</td><td>6%</td></tr> <tr><td>발정</td><td>177</td><td>79%</td></tr> <tr><td>질병</td><td>34</td><td>15%</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">■ 분만 ■ 발정 ■ 질병</p>	분류	건수	비율	분만	13	6%	발정	177	79%	질병	34	15%	<p>2018년 12월~ 2019년 1월까지 경남 지역에서 발생한 분만, 발정, 질병은 발생 건수는 전체 224건이었으며, 그중 분만이 34건으로 다른 지역보다 높았음. 그리하여 해당 지역은 분만 시점 예측 작업이 좀 더 정확하고 원활하게 이루어 질 필요가 있음.</p>	
분류	건수	비율												
분만	13	6%												
발정	177	79%												
질병	34	15%												
농장별 빅데이터 분석	<p style="text-align: center;">천안호덕목장(충남)</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>분류</th><th>건수</th></tr> <tr><td>분만</td><td>2</td></tr> <tr><td>발정</td><td>23</td></tr> <tr><td>질병</td><td>4</td></tr> </table>	분류	건수	분만	2	발정	23	질병	4	<p>2018년 12월~ 2019년 1월까지 충남 천안호덕목장에서 발생한 분만, 발정, 질병은 발생 건수는 전체 18건이었으며, 그중 발정이 23건으로 다른 지역보다 높았음. 그리하여 해당 지역은 발정 시점 예측 작업이 좀 더 정확하고 원활하게 이루어 질 필요가 있음.</p>				
분류	건수													
분만	2													
발정	23													
질병	4													
기간 내 전체 데이터 분석	<p style="text-align: center;">전체 데이터</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>분류</th><th>건수</th><th>비율</th></tr> <tr><td>분만</td><td>157</td><td>6%</td></tr> <tr><td>발정</td><td>2212</td><td>80%</td></tr> <tr><td>질병</td><td>406</td><td>14%</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">■ 질병 ■ 발정 ■ 분만</p>	분류	건수	비율	분만	157	6%	발정	2212	80%	질병	406	14%	<p>2018년 12월~ 2019년 1월까지 전체 질병, 발정, 분만 건수는 2276건으로, 그중 발정이 2212건으로 80%를 차지하였음.</p>
분류	건수	비율												
분만	157	6%												
발정	2212	80%												
질병	406	14%												

<지역/농장별 빅데이터 분석 예시>

- 수집된 생체 정보의 다양한 통계 분석 연구

분석 항목	그래프 예시	분석
질병 시 체온 패턴		<p>해당 개체는 측정 기간 후반부에 유방염에 노출된 개체로, 평상시 체온인 39.14°C보다 2°C이상 체온이 상승하였음.</p> <p>해당 개체는 체온이 서서히 하락하면서 분만을 하였으나, 그 이후 다시 체온이 하락하면서 유열과 Hypocalcaemia(저칼슘혈증)에 노출되었음. 추후 다시 유방염에 노출되면서 체온이 급격히 상승함.</p>
발정 시 체온 패턴		<p>해당 개체는 측정 기간 동안 2번의 발정을 보였으며, 축우의 평균 체온인 39.5°C보다 높은 40.4°C의 발정 시 평균 체온을 보였음. 발정 주기는 26일 정도로 다른 개체보다 다소 길었음.</p>
분만 시 체온 패턴		<p>일반적으로 축우는 분만 1~2일전부터 체온이 서서히 하락하면서 분만이 이루어짐. 해당 개체는 분만 3일전부터 평상시 체온보다 0.5°C 정도 서서히 체온이 하락하다 분만을 하였음.</p>
급여 시 pH 패턴		<p>해당 축우는 정상 급여 패턴을 유지하며 반추위 정상 pH 범위인 6.0 이상 7.0 이하를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다.</p>

4) 목표 달성 여부

- 낙농용 위내 온도 및 pH 측정 시스템 실증 : 100% 실증 실험 완료
- 빅데이터 수집 및 생체정보 분석 연구 : 100% 분석 및 데이터 활용 연구 완료
- 성능 평가 지표 활용 평가(3차년도 항목: 1,7)

정량적 목표 항목	평가	목표 항목 달성 여부
1. 농가 적용성	시스템 실증 과정에서 통신 모듈 설치를 농장주에게 사전 협의 후	달성

	진행하였고 센서 삽입 과정이 간단하여 농가 일정에 영향을 최소화 하여 시스템 적용이 용이한 것을 확인하였음.	
7. 만족도 평가	축우에 센서 삽입 후 농장주 및 관리자 모바일 장치로 실시간 확인이 가능한 것을 확인하여 100%의 농장주 만족도를 보였음.	달성

3절 연구 개발 성과

1. 논문 게재 성과

게재 연도	논문명	저자명	학술지명	Vol (No)	국내 외 여부	SCI 여부
2017	구제역 예방을 위한 축우의 실시간 체온 모니터링 방법 및 사례 연구	김희진, 오세은, 안세혁, 최병주	한국정보기술 학회 논문지(Journal of KIIT)	15(5)	국내	비SCI
2017	Real-time Temperature Monitoring to Enhance Estrus Detection in Cattle Utilizing Ingestible Bio-Sensors - Method &Case Studies	Heejin Kim, Seeun Oh, Sehyeok Ahn, Byoungju Choi	한국정보기술 학회 논문지(Journal of KIIT)	15(11)	국내	비SCI
2018	Monitoring Cattle Disease with Ingestible Bio-Sensors Utilizing LoRaWAN: Method and Case Studies	Heejin Kim, Younjeong Min, Byoungju Choi	한국정보기술 학회 논문지(Journal of KIIT)	16(4)	국내	비SCI
2018	AI Analysis Method Utilizing Ingestible Bio-Sensors for Bovine Calving Predictions	Heejin Kim, Younjeong Min, Changhyuk Choi, Byoungju Choi	한국정보기술 학회 논문지(Journal of KIIT)	16(12)	국내	비SCI

2장 연구수행 내용 및 결과 (2-4. 서울대학교-위탁)

축사 내부 환기 효과는 축사의 설치 위치, 방향, 주변 건물간 배치, 환기 방식, 환기 시스템 특성, 사육밀도 등에 따라 상이하다 (축산과학원, 2016¹⁾). 또한 현행 환기팬 제어 시스템은 온·습도 등의 다양한 환경 변수를 기반한 제어가 가능하지만 측정 장비의 가격, 유지 보수 등의 문제로 적은 측정에서 오로지 온도 실측 데이터에 기반한 환기 알고리즘에 의하여 운영되고 있다. 대형화된 시설일수록 지역적 환경변수에 대한 차이는 비교적 크게 발생할 수 있으므로 지역적 불균일성을 해결하는데 많은 한계가 존재하고 있다. 더욱이 온도만을 통한 환기 제어가 이루어질 때는 축사시설 내 열 환경을 적정 사육 기준에 충족시키는 것은 어렵지 않지만 그림 2-1, 그림 2-2와 같이 상황에 따라 습도 및 가스 환경 등을 적정 기준에 부합되지 않을 수 있다. 그 결과, 센서 유지 관리가 어려워지며, 부식, 응결, 분진 등의 영향으로 측정값에 대한 오차가 발생하게 되고 정확한 공조 시스템의 운영이 어렵게 된다 (그림 2-3). 이로 인하여, 많은 사육 시설에 있어 사육 환경의 균일성 달성 실패 등으로 인하여 생산성이 하락되거나, 사육환경의 급변화에 따른 가축의 대사불균형으로 인한 스트레스성 질병 발생에 대한 폐사율이 급증하는 등의 문제가 발생할 수 있다 (국립축산과학원, 2015²⁾).

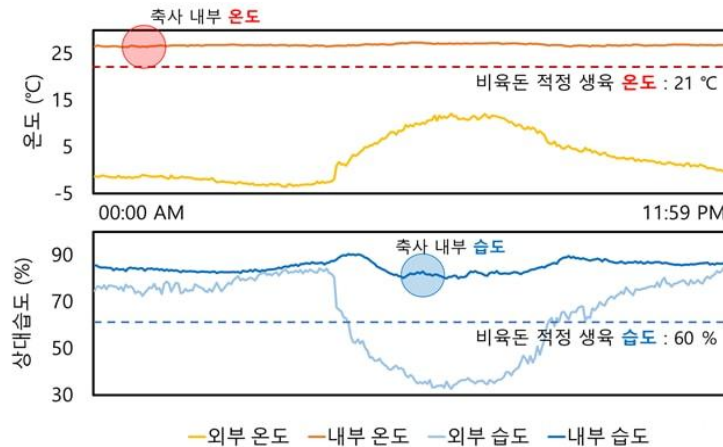


그림 2-1 경남 하동군 소재 동절기 바른양돈 내 비육돈사 내부 온·습도 변화

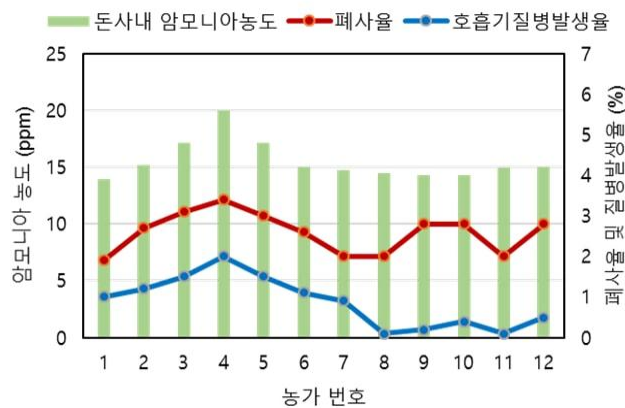


그림 2-2 암모니아 농도에 따른 질병 발생률 및 폐사율

1) 축산과학원 (NIAS). (2016). 이유자돈 육성을 향상을 위한 환기관리
 2) 축산과학원 (NIAS). (2015). 농업기술 2015, 11월호 어린 돼지 관리요령



(a) 육계사의 환기 제어시스템 운영을 위해 설치된 내부온도 센서



(b) 비육돈사의 고습 환경으로 인한 센서의 덕짐 현상

그림 2-3 축사 내부 공조 시스템 제어를 위한 온도 센서의 분진 및 고습으로 인한 센서 관리문제

따라서, 축사 내 다점 측정 데이터를 기반한 다양한 환경 변수 (온도, 습도, 온·습도, 가스 등)의 통합 및 개별 조절을 위한 제어 기술 개발 및 차별적 환기 방안을 도출할 필요가 있다. 새로운 개념의 환기 팬 자동제어 시스템 구축을 위하여 먼저 현장 관측을 통한 기존 축사 시설의 시설 유형별 환기 문제점을 도출하고 공기역학적 접근방법에 기인하여 내부의 공기 흐름에 대한 정성적, 정량적 분석을 실시하고 사육 환경의 균일성, 적정성, 안정성 등을 달성하기 위한 환기 시스템 개선을 실시하고자 하였다.

2.1 국내·외 환기 관련 설계 및 이의 ICT 운영자료 조사

축사시설 관련 보고서, 서적, 논문 등의 문헌을 참고하여 축사시설 (비육돈, 육계)의 적용된 환기 설계 및 이의 ICT 운영 조사 및 분석하고자 하였다. 과거 축산농가에서 사육되는 가축은 소규모 사육 형태로 농장주가 사육하는 가축을 육안으로 직접 관찰하고 관리할 수 있었다. 따라서 축사시설 내부의 환경관리는 농장주의 판단 (가축의 밀집정도, 상태변화)을 통하여 환경조절을 위한 환기관리를 수행하였다. 그러나 축산물의 생산력 증대와 국제시장에서의 가격 경쟁력을 제고하기 위하여 축사시설의 대형화 및 밀집 사육이 이루어지고 있으며, 정밀한 환경 관리를 위한 환기의 중요성이 대두되고 있다. 축사시설에서의 환기는 환기 방식에 따라 자연환기와 강제환기 방식으로 구분된다.

2.1.1 자연환기

축사시설에 있어서 기계식 장치가 도입되기 이전에는 자연적 공기의 대류 (물리적 변화)에 의한 환기가 주로 이루어졌다. 자연환기 방식에는 주로 윈치커튼에 의한 환기가 이뤄졌다. 이러한 윈치커튼은 주로 축사시설의 측벽에 설치되었으며, 개방 방식에 따라 상향식과 하향식으로 구분할 수 있다. 상향식은 설치의 용이성 및 구조가 간단하여 일반적으로 많이 적용되고 있으나 틈새 바람이 아랫부분에서 발생한다. 따라서 겨울철과 같이 실내외의 온도차가 크게 발생하는 환경에서는 가축의 열적스트레스의 발생 원인으로 작용함으로 하향식 커튼을 적용하는 것을 권장하고 있다.

2.1.2 강제환기

㉠ 터널환기

출입구로부터 배면에 배기팬을 설치하고 마치 바람이 터널을 통과하는 것과 같은 형태로 시설 내부를 통과하는 방식을 터널환기라고 일컫으며, 주로 육계 사육 시설에 적용되고 있다. 이러한 터널환기는 공기의 흐름이 빠르기 때문에 빠른 시간 내에 시설 내부의 공기를 교체할 수 있으며, 앞서 언급한 바와 같이 공기의 흐름 속도가 빠르기 때문에 체감온도를 낮출 수 있는 효과로 인하여 하절기의 환기 방식으로 주로 적용되고 있다. 그러나 혹서기에는 공기유속과 외부 공기온도로만 시설 내부의 생육환경을 최

적화하는 데는 어려움이 있다. 따라서 여름철 고온 스트레스로 인한 가축의 폐사를 방지하기 위한 대책의 일환으로써, 쿨링패드를 적용하고 있다. 쿨링패드는 특수섬유로 되어있으며, 패드 전면에 물을 분사하고 패드가 젖으면 공기는 젖은 특수 섬유 사이를 통과 하면서 열을 교환하여 시설 내의 온도는 낮춘다.

㉠ 크로스환기

축사의 길이가 너무 길어서 터널효과에 의한 환기를 제대로 수행하기 어렵다고 판단될 경우 축사의 폭 방향으로 입기와 배기를 잡아 설계하는 환기방식이며, 주로 육계사에 적용되는 방식이다.

㉡ 터널+ 크로스환기

터널과 크로스의 혼합 환기 방식은 크로스식과 터널식의 장점을 최대한 활용하는데 의의가 있다. 사육환경에서 비교적 높은 온도환경이 필요로 하는 경우에는 크로스 방식으로 환기체계를 운영하고 축사 내부의 온도를 낮추어야 할 경우에는 터널식 환기를 통하여 공기의 흐름을 빠르게 하는 방식으로 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 환경에서 적합한 환기방식이다.

㉢ 측벽 환기

유럽의 돈사는 대부분 굴뚝환기를 통하여 균일하게 내부 공기를 교환하는 반면 국내의 돈사는 측벽을 통한 입기와 배기 방식이 주를 이룬다. 국내 강제환기식 축사의 경우 대부분 음압식 방식을 채택하고 있기 때문에, 균일한 환기를 위하여 입기구에 덕트 혹은 배플(baffle)을 설치한다. 입기덕트는 시설의 상부를 가로질러 설치되며 덕트를 통과한 외기는 일정한 간격의 구멍을 통해 고르게 내부로 유입된다. 측벽에 설치되는 배플은 입기구의 면적 조절을 통해 유량을 제어하며 입기 각도를 조절하여 동절기에 차가운 외기가 동물군에 직접적으로 접촉하는 것을 방지하는 역할을 한다.

㉣ 피트 배기

돈사의 경우 내부 환경조절을 위하여 추가적으로 피트 배기 방식이 활용되기도 한다. 피트 배기는 배기를 위한 덕트가 분뇨의 처리를 위한 피트와 슬롯형 바닥의 사이에 위치하는 배기 형태이다. 바닥을 통하여 시설 내부의 공기가 배기되기 때문에 돼지 주변 지역의 환경 조절에 유리하며 피트에서 발생하는 악취와 유해 기체를 저감할 수 있다. 하지만 분뇨에서 발생하는 부식성 기체로 인하여 내식성 덕트가 요구되며, 추가적인 시설이 필요함에 따라 시설비용이 증가한다.

축산시설에 있어서 에너지부하 절감을 통한 농가 수익 증대를 위하여 환기 운영 및 부하량 최소화 등의 노력이 꾸준히 이루어지고 있다. 축산시설의 경우에도 환기 제어기를 통하여 자동으로 환경조절이 가능하도록 시스템화 되어있으며 원격 제어와 영상 및 알람 기능을 통하여 어디에서나 축산시설 내·외 부로의 모니터링이 가능해지고 있다. 그러나 축산시설의 환기 제어를 위하여 대부분의 축산 농가는 온도 센서를 통하여 계측되는 값을 통하여 전체 온실의 미기상 (온도, 습도, 가스, 등)을 조절하고 있다. 따라서 축산 시설 내부의 온도 환경에 대하여 정밀한 조절이 가능하지만 타 환경 변수에 대한 정확한 조절은 한계가 있다. 그러나 축산시설 내부에는 가축이 상시 거주하는 공간이기 때문에 복합가스 및 습도 역시 가축복지 실현을 위하여 적절한 수준 이하로 유지할 필요가 있다. 또한 대부분의 축산시설은 소수의 센서를 통하여 제어시스템이 운영되도록 설계되기 때문에 축산시설 전체를 대표하기에는 다소 어려움이 있다.

돈사의 환기팬 제어시스템은 일정한 속도로 환기팬이 운영되는 환기 제어 시스템에서 속도를 제어할 수 있는 환기팬 적용으로 시스템의 변화가 이루어졌으며, 일반적으로 돈사 환기팬 속도제어는 트라이악스를 이용한 속도제어 (위상제어방식: 센서로 부터 제어신호 (전압))를 입력 받아 팬의 속도 및 풍량을

제어하는 방식)를 적용하고 있다. 따라서 온도와 습도가 동시에 높을 때는 두 변수 모두 비육돈사 내부의 환경을 적정 수준으로 유지할 수 있다. 그러나 온도는 높고 습도가 낮을 경우에는 비육돈사의 가변식 배기팬의 속도 제어가 증가하여 축사 내부가 과건조해질 수 있다. 또한 온도는 낮고 습도가 높을 때 환기가 운영 안 되기 때문에 비육돈사 내부에는 가스, 습도가 증가하는 경우가 발생한다. 돈사의 환기 제어시스템의 경우에는 농장주가 설정하고자 하는 온도 (설정온도)를 우선적으로 설정하며 설정온도 이상일 때 풍량이 가변식으로 조절되기 위하여 온도편차를 설정한다. 설정온도 이하임에도 환기팬이 지속적으로 작동하는 기준인 최소 환기량을 설명한다. 또한 설정온도 이상일 때는 가변식 환기팬의 성능이 조절되도록 설정하며 설정된 온도편차 이상일 경우에는 최대환기량을 설정함으로써 그 이상으로는 환기량이 가변되지 않도록 제한한다 (그림 2-1-1).

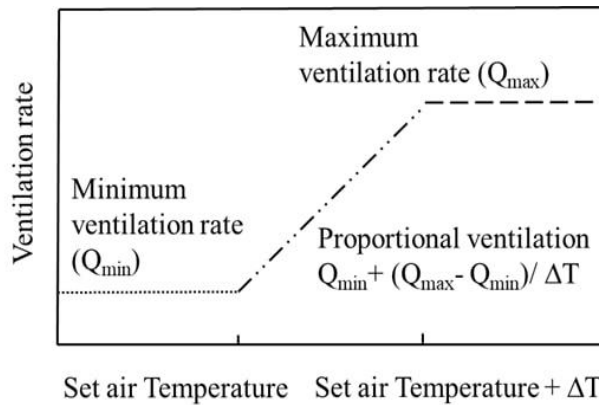


그림 2-1-1 환기 제어 시스템에 대한 수학적 모식도

$$[\text{풍량 (Q)} = \text{최소환기량} + (\text{최대환기량} - \text{최소환기량}) * (1 / (\text{내부온도} - \text{설정온도}))]$$

육계사의 환기 시스템은 사료와 육성 효율을 증가시키는 동시에 폐사율을 감소시킴으로써 농가에 경제적 수익성을 상승시킬 수 있다. 환기는 축산 시설 내부에 공기를 순환시키는 것과 내부의 공기를 외부의 공기와 교체하는 것을 의미하며 적절한 시간 동안의 환기가 필요하다. 육계사의 환기 제어시스템의 경우에는 국내 대부분의 육계농장은 On/off 제어 시스템을 적용하고 있다. 설정된 주기에 따라 일명 별로 환기팬이 작동하는 On과 Off의 시간이 달라지며 일반적으로 육계의 사육기간이 길어질수록 체열 발산량이 증가하기 때문에 환기팬의 작동시간이 길어진다. 또한 On과 Off의 주기에 따른 육계사 내부 온도 분포 변화를 실험한 결과 On과 Off의 주기를 5분과 10분 각각 운영했을 때 육계사 내에서 발생하는 온도 편차는 5분 (300초) 주기로 설정했을 때 감소하였으며 On과 Off의 주기를 짧게 할수록 육계사 내부의 온도편차는 감소하는 것으로 나타났다. 우리나라에서는 일반적으로 조지아 대학의 연구결과와 동일하게 5분 주기로 육계사의 환기팬 제어가 운영되도록 적용되고 있다.

농업시설의 환경조절 분야에 컴퓨터 및 제어 통신기술이 활발하게 적용되기 이전 시기의 경우 아날로그식 센서와 작동기로 이루어진 제어장치를 한 곳에 모아 축사 내부 환경을 조절하는 집중 제어방식이 적용하였고 제어기에서 온풍기, 환풍기, 커튼, 측·천장 환기 등을 개별 제어하였다. 축산시설에 있어 초기 컴퓨터 및 통신장치의 적용은 설치 및 운영비용이 적게 투입되며 소수 요인에 대한 제어가 적합한 서모스탯 및 타이머를 이용한 단순 제어, 아날로그 스텝 제어가 적용되었다. 그러나 우리나라의 1인당 육류소비량과 인구증가로 인하여 축종별 전체 사육규모는 지속적으로 늘어남에 따라 농가에서 사육되는 가축의 규모도 지속적으로 확대되고 있다. 이로 인하여 농장주는 개별 가축의 관리가 어려워지게 되었고 전체 및 개별 가축에 대하여 정밀하게 관리할 수 있는 기술의 개발이 필요하게 되었으며, ICT 융복합 기술을 이용한 첨단 사양시설 및 관리시스템의 도입으로 빠르게 이러한 문제를 해결할 수 있게 되었다 (축산과학원, 2015³⁾).

환기량은 일반적으로 외부의 온도, 압력, 공기유속 등의 변화로 인하여 정확한 환기량을 산정하는 데 어려움이 있기 때문에 컴퓨터 등을 통하여 정밀하게 제어하기 위한 기술이 개발되고 있다. 축산업 분야에서 ICT 분야의 기술은 축산시설 내부의 환경 제어, 가축 사양관리, 사육 과정의 모니터링과 자동화 등의 영역에 적용되고 있으며, 국내 양돈시설 역시 ICT 기술을 접목한 스마트팜을 개발하려는 시도가 이루어지고 있다. 축산시설을 대상으로 한 ICT 융복합 모델은 온·습도, 이산화탄소, 정전과 화재 등의 사고에 대한 모니터링과 이를 통한 사육단계, 시기별 환경지표의 관리와 원격 제어를 가능하게 하였다 (최영찬 & 장익훈, 2014⁴); 김웅, 2016⁵). 그 중 환기시스템의 제어는 주로 시설 내외부의 온도 및 습도 측정치를 통하여 환기팬의 가동률을 조정하는 방식으로 이루어지고 있다 (그림 2-1-2).

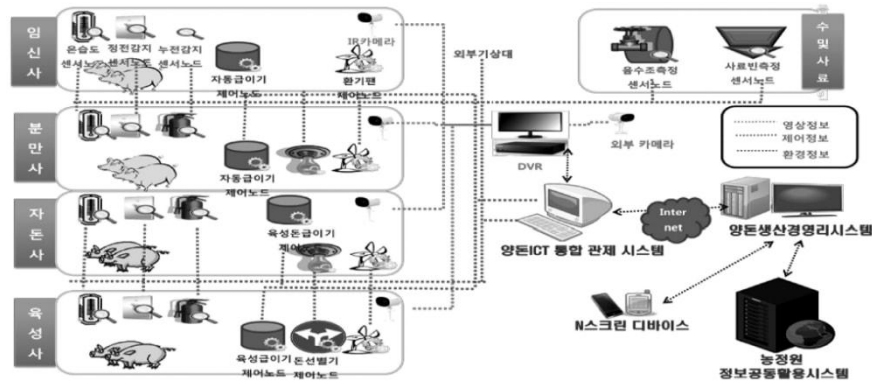


그림 2-1-2 ICT 융복합 양돈 시설의 개념도 (최영찬 & 장익훈, 2014)

이준영 등 (2014)⁶)는 돈사를 대상으로 RFID (Radio - Frequency Identification)를 이용한 u-축사환경관리시스템을 통하여 가축의 정보 모니터링과 센서 네트워크를 통한 생육환경 제어 사업으로서, 온도·습도·산소 농도 측정하여 표준 지표 평가와 환기 제어 환경을 제공하였다. 농림축산식품부는 농가의 생산비 절감과 경쟁력 강화를 위하여 축산분야 ICT 융복합 확산 시범사업을 수행하고 있으며, 축산시설의 환기 관리 기술을 보유한 기업이 다수 참여하고 있다. (주)한별이레는 호흡기 모니터링 장치와 시설 내 설치된 센서, 현장관리 소프트웨어를 통한 자동 배기팬과 입기창 제어 제품을 공급하였다 (그림 2-1-3). (주)리치피그의 환기시스템 설비는 사무실에 위치하는 제어장비와의 통신을 통해 두 개의 온도 감지센서 측정치를 기반으로 환기팬을 제어한다.

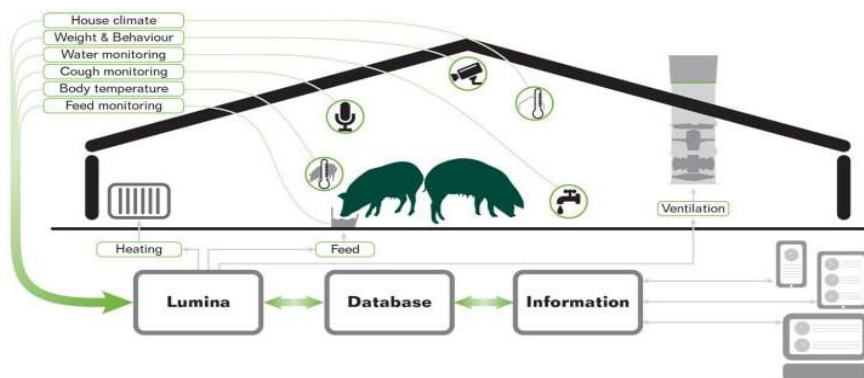


그림 2-1-3 (주)한별이레의 돈사 환경관리 시스템 구성도

3) 축산과학원 (NIAS). (2015). 양돈분야 ICT 해외신기술동향
 4) 최영찬, & 장익훈. (2014). 양돈산업 정보화의 현황과 전망. 한국통신학회지 (정보와통신), 31(5), 67-72.
 5) 김웅. (2016). 무창돈사를 위한 컨트롤러 일체형 환기팬 개발. 농업생명과학연구, 50(2), 187-194.
 6) 이준영, 김신호, 이새봄, 최형진, & 정재진. (2014) 스마트 농업 확산을 위한 IoT 기반 개방형 플랫폼의필요성 및 구축 방안 연구. Journal of Korea Multimedia Society Vol, 17(11), 1313-1324.

계사의 경우 채종윤 (2005)⁷⁾은 복층 온실 계사의 온·습도, 유해가스 농도, 난방 에너지 소비율 등의 측정치를 통한 환경 제어 시스템을 제작하였다. 주휘동 등 (2006)⁸⁾은 육계의 생체 정보와 시설 온도 데이터를 분석하여 환기설비를 자동 조절하는 그리드 컴퓨팅 시스템을 구상한 바 있으며, 육계 시설을 대상으로 실용화된 ICT 기술 역시 환경 변수의 측정과 전송을 통한 원격 및 자동 제어 기술이 주를 이루고 있다. ㈜ 건지에서 제공하는 관리 프로그램은 환기, 급이 및 급수, 조광, 냉방 및 난방 환경을 종합적으로 관리하고 있다. 삼성산업은 육계사 내부의 온·습도, 압력, 등의 환경 정보와 급이량 등 생육 정보를 시계열별로 분석하여 원격으로 시설을 관리한다. 축산시설의 자동 제어 혹은 환기 제어 알고리즘에 관한 연구는 국외에서 주로 찾을 수 있었다. 열수지 모델을 통한 모의와 퍼지(fuzzy) 제어 시스템, Lyapunov 제어 시스템을 결합하여 환경 제어 시스템이 설계된 바 있으며 (Gates et al., 2001⁹⁾; Daskalov et al., 2006¹⁰⁾). Mirzaee-Ghaleh et al. (2015)는 계사 모델을 통하여 배기팬을 비롯한 시설의 기존 on/off식 제어 방식과 퍼지 제어 방식의 효율을 비교하였다. 그러나 이러한 연구들은 공기 유동을 고려하지 않는 열수지 기반 모델을 사용하였다 (그림 2-1-4).

다시 말해, 국내 적용되고 있는 대다수의 환경관리 시스템의 문제점은 축산시설 내부의 온도 환경에 대하여 정밀한 조절이 가능하지만 타 환경 변수에 대한 정확한 조절은 한계가 있으며, 소수의 센서 (보통 한 개)를 통하여 제어시스템이 운영되도록 설계되기 때문에 센서의 설치위치에 따라 축산시설 전체를 대표하기에는 다소 어려움이 있다.

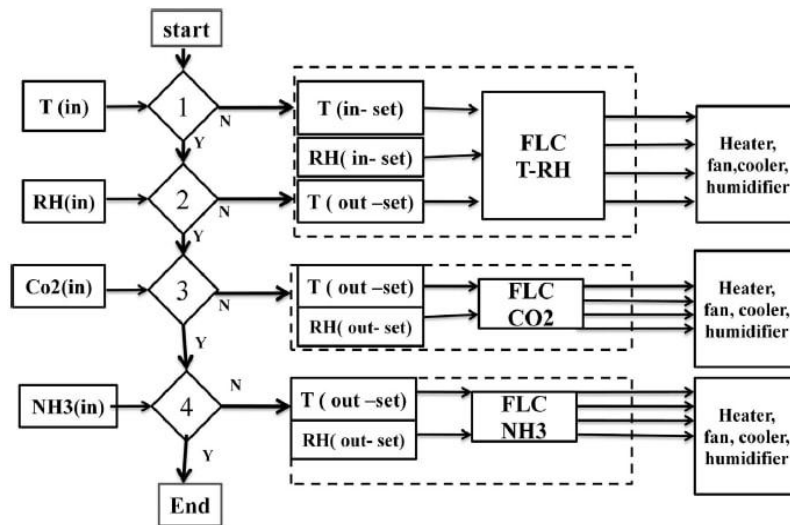


그림 2-1-4 계사 퍼지 제어 시스템의 구성도 (Mirzaee-Ghaleh et al., 2015¹¹⁾)

2.2 대상농가선정

축산시설 내·외부의 환경 모니터링 데이터 (온·습도, 가스 및 분진, 환기량, 등)는 여러 농장으로부터 수집되었다. 육계사의 경우 총 4곳의 농장 (충남 이레농장, 전북 대선농장, 문기 농장, 북성 농장), 비육돈사의 경우에는 총 2곳의 농장 (경남 바른양돈, 충북 홍성농장)이다.

7) 채종윤. (2005). 온실계사 환경 제어 시스템 개발. 석사 학위 논문. 순천대학교 대학원.

8) 주휘동, 엄기복, & 여현. (2006). U-Grid Computing 을 이용한 대규모 U-IT 응용 USN 설계. 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계) 2006, 594-597.

9) Gates, R. S., Chao, K., & Sigrimis, N. (2001). Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. Computers and Electronics in Agriculture, 31(1), 61-74.

10) Daskalov, P. I., Arvanitis, K. G., Pasgianos, G. D., & Sigrimis, N. A. (2006). Non-linear adaptive temperature and humidity control in animal buildings. Biosystems engineering, 93(1), 1-24.

11) Mirzaee-Ghaleh, E., Omid, M., Keyhani, A., & Dalvand, M. J. (2015). Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. Computers and Electronics in Agriculture, 110, 187-195.

2.2.1 부여 이레농장

육계사 내외부의 온·습도 및 가스, 분진을 모니터링하기 위하여 충청남도 부여군 충화면 소재에 이레 농장을 선정하였다. 해당 실험 농장의 시설은 폭 15.0m, 길이 60.0m, 동고 5.1m, 측고 3.2m으로 구성된 육계사이며, 1 회전 (사육기간 31~34일) 12,000 수수를 사육한다. 그림 2-2-1은 대상 농장의 외부 전경 및 내부 구조이다.



(a) 부여 이레농장 항공사진
(위도 36° 9' 54", 경도 126° 50' 17")



(b) 부여 이레농장 전경



(c) 육계사 입기슬롯



(d) 육계사 내부 급수기, 급이기 설치 현황

그림 2-2-1 대상농가 (부여 이레농장)의 지리적 위치 및 축사 내 설비 현황

육계사의 환기는 부압식 강제환기 방식 (여름철: 터널환기, 겨울철: 크로스환기)을 적용하고 양쪽 측벽에는 0.2m × 0.6m 규격의 입기슬롯이 각각의 1.2m 간격으로 30개씩 총 60개가 설치되어 있다 (그림 2-2-1(c)). 크로스환기시에는 측벽의 3대의 크로스배기팬 (Euroemme EM36; Munters, Sweden)이 가동되며, 크로스배기팬의 프로펠러 직경은 0.92m, 최대 유량은 19,880 CMH이다. 터널환기시에는 그림 2-2-2와 같이 2단으로 설치된 10대의 터널배기팬이 가동되며, 터널배기팬 (Euroemme EM50; Munters, Sweden)의 프로펠러 직경은 1.27m, 최대 유량은 42,125 CMH을 나타낸다. 또한 혹서기 중에 입기슬롯으로부터 유입되는 신선한 공기만으로 육계의 적정 생육환경을 유지하는데 있어서 한계가 존재하기 때문에 별도로 양쪽 측벽에 쿨링패드 (24.0m × 1.1m)가 설치되어있다. 또한 계절과 관계없이 일반적으로 육추 초기에는 35°C에 가까운 생육온도를 유지해야하기 때문에 육계사 내부 난방을 위하여 시간당 70,000 Kcal의 성능을 갖는 열풍기 (PW-100A/B, Samsung Ind. Co., Korea)가 4대가 설치되었다.



터널배기팬 설치현황



측벽 크로스배기팬 설치현황

그림 2-2-2 육계사 배면부 터널배기팬 및 측면 크로스배기팬 배치 정보

더욱이 시설 내부에 육계의 생육환경에 대한 균일성을 개선하기 위한 목적으로 12m 간격으로 총 8대의 순환팬 (0.45m × 0.45m)이 지면으로부터 3.4m 높이에 설치되었으며, 이 때, 순환팬의 토출방향 및 시설 내부에서 설계된 위치는 다음 그림 2-2-3과 같다. 이 때, 대상농가의 공조를 위한 기기들은 제어시스템과 개별적으로 연결되어 있지 않으며, 그림 2-2-4와 같이 시스템이 구성되어 있다. 출입구에서 가장 가까이 있는 크로스배기팬의 경우에는 제어시스템과 1대1 제어가 이루어지나 나머지 2 대의 크로스 배기팬은 2대1의 제어가 이루어지도록 구성되어있다. 이러한 환경 조절 장치들은 제어 시스템 (Farm Premium P; Munters, Sweden)와 전용 소프트웨어를 통하여 자동으로 운영된다. 배기팬의 가동 주기 (환기레벨)는 시설의 목표 온도와 내부 센서를 통해 측정된 평균 온도의 차이와 농장주의 설정치를 기준으로 결정된다. 대상 농장의 환기 레벨 설정에 따른 환기팬 가동 주기는 다음 표 2-2-1과 같다. 환기 레벨과 더불어 설정 온도 및 정압, 배기팬과 순환팬의 가동, 히터 가동 대수, 쿨링패드 가동 여부는 전용 소프트웨어를 통해 모니터링 된다.

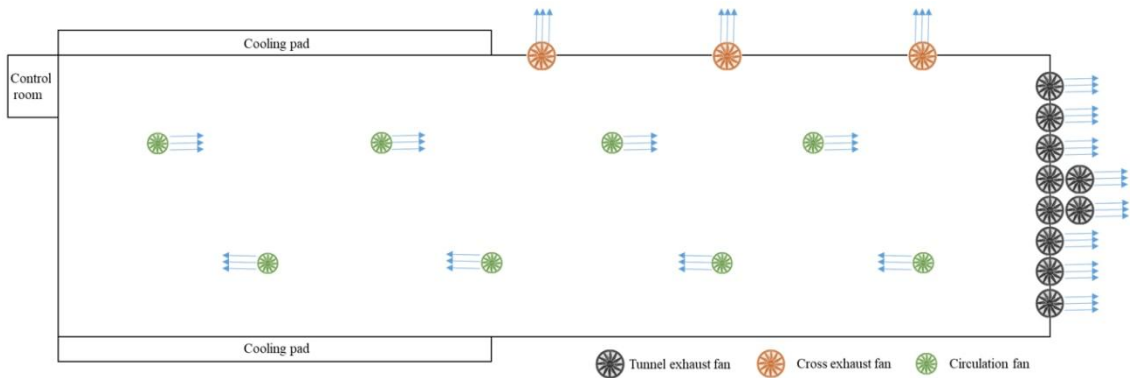
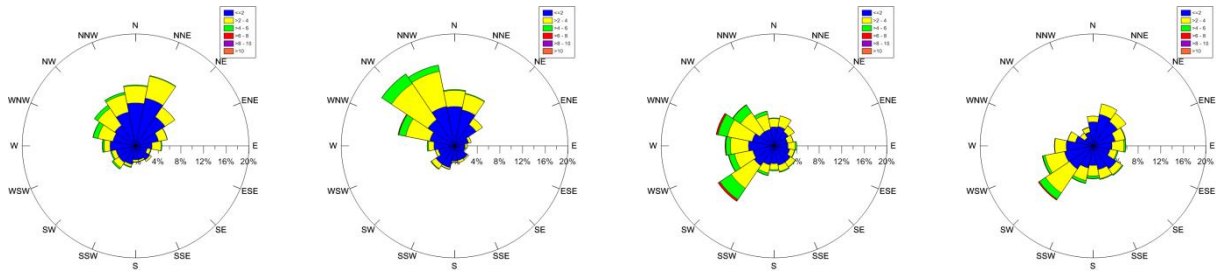


그림 2-2-3 육계사 내 공조 및 냉난방을 위한 기기의 배치 현황

환기 레벨	온도차	환기팬 가동 주기		환기팬 가동 대수	
		on	off	크로스 팬	터널 팬
1	0.0	10	290	3	0
2	0.1	15	285	3	0
3	0.1	22	278	3	0
4	0.2	37	363	3	0
5	0.2	41	259	3	0
6	0.3	52	248	3	0
7	0.3	66	234	3	0
8	0.3	77	223	3	0
9	0.4	90	210	3	0
10	0.4	100	200	3	0
11	0.4	110	190	3	0
12	0.5	120	180	3	0
13	0.5	130	170	3	0
14	0.5	140	160	3	0
15	0.6	150	150	3	0
16	0.7	160	140	3	0
17	0.8	180	120	3	0
18	0.9	150	150	3	0
19	1.0	연속 가동		3	0
20	1.2	150	150	3	1
21	1.3	연속 가동		0	2
22	1.4	연속 가동		0	3
23	1.5	150	150	0	4 *
24	1.7	연속 가동		0	4
25	1.9	연속 가동		0	5
* 레벨 24의 경우 터널 팬 1대는 주기적 가동, 3대는 연속 가동					

외부 기상 (풍속, 온도, 습도 등)은 시설 내부의 육계 생육 환경에 영향을 미치는 주요한 요소로 작용한다. 따라서 사계절이 뚜렷한 우리나라의 기후적 특성을 고려하여 대상시설이 위치하고 있는 인접한 기상관측소에서 제공하는 각 계절별, 주야간동안의 AWS자료 (2006~2015년의 기상자료)를 분석하였다. 이 때, 계절의 구분은 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월), 겨울 (12~2월)으로 하였다.

대상지역의 봄철 전체기간에 있어서 주풍 특성은 남서풍의 빈도를 높게 나타내는 것을 확인 할 수 있었다 (주간: 남서풍, 야간, 서남서풍). 동일하게 여름철 전체기간에 있어서 남서풍의 빈도가 높게 나타났으며 주간에는 남서풍의 빈도가 높았으나 야간에는 북북동풍의 빈도가 높았다. 가을철의 경우에는 주·야간에 있어서 동일하게 북북동풍의 빈도가 높게 나타났으며, 겨울철에는 평균적으로 북서풍의 빈도가 높았으며 주간에는 북서풍, 야간에는 북북서풍의 빈도가 높게 나타났을 확인할 수 있었다 (그림 2-2-5). 대상 지역의 평균 온도는 봄철 14.2°C, 여름철 26.0°C, 가을철 14.5°C, 겨울철 2.0°C를 나타냈으며, 중부산간, 도서지방을 제외한 우리나라의 8월 온도 23~26°C, 1월 온도 -6~3°C의 범위와 유사함을 확인할 수 있었다. 평균 습도는 봄철 55.5%, 여름철 71.0%, 가을철 64.2%, 겨울철 60.2%를 나타냈고 전국적으로 연중 60~75%, 7월과 8월이 70~85%, 3월과 4월이 50~70%임을 고려하면 유사함을 확인할 수 있었다.



가을 전체 (9~11월) 겨울 전체 (12~2월) 봄 전체 (3~5월) 여름 전체 (6~8월)

그림 2-2-5 부여 이레농장 (육계사)의 지난 10년간 (2006년 2015) 외부기상 분석 결과

2.2.2 전북 김제 대선농장

부여 이레 농장주의 실험 철수 요구에 따라 부득이하게 지속적인 환경 모니터링이 불가능하였다. 추가적인 팬 성능 측정 실험을 위하여 전라북도 김제시 황산면 소재의 대선농장을 섭외하였다. 실험 육계사의 규격은 길이 123.0m, 폭 15.0m, 측고 3.5m, 동고 5.5m이다. 이레 농장과 마찬가지로 국내 전형적인 유형의 강제환기식 육계사에 해당한다 (그림 2-2-6). 이레농장과 동일하게 동절기에는 육계사의 측벽에 위치한 4대의 크로스배기팬과 입기슬롯을 통한 강제환기를 실시하며, 하절기 높은 환기량이 필요할 경우 끝벽에 위치한 14대의 터널배기팬과 입기슬롯과 쿨링패드를 통한 터널환기를 실시한다. 입기슬롯은 양 측벽에 각 41개씩 설치되어 있으며 각각의 높이는 0.34m, 길이는 1.13m이다. 쿨링패드는 양 측벽에 출입구와 가까이 설치되어 있으며, 설치 규격은 길이 30.0m, 높이 1.5m이다. 이 때, 쿨링패드의 개폐를 위해 내부에 설치된 터널도어는 길이 30.0m, 높이 1.0m이다. 또한 다른 농장과 달리 해당농가 주변으로 마을과 벼를 재배하는 논이 있기 때문에 시설 외부로 배출되는 분진과 악취가 농작물 피해 또는 인근 주택에 확산되는 것을 방지하기 위하여 터널배기팬으로부터 3.0~4.0m 앞에 방풍벽이 설치되어 있다 (그림 2-2-6(c)).

해당 농장은 Chore-Tronics 2 Controls (Chore-Time, A Division of CTB, Inc., USA) 시스템을 통해 자동적으로 환기 및 난방 시설과 급이기를 제어한다 (그림 2-2-7). 해당 시스템은 온도와 상대습도, 정압, 유속 센서와 시설 운영을 위한 컨트롤러, 소프트웨어를 포함한 시스템이다. 크로스배기팬과 터널배기팬은 설정 온도와 상대 습도에 따라 자동 조절이 가능하며 필요시 사용자가 임의로 개별 배기팬을 제어할 수 있다. 반면 입기슬롯은 시설 내·외부 정압력의 차이에 따라 자동으로 제어된다. 제어에 사용되는 정압 센서는 Setra model 265 (Setra Systems, Inc., USA)이다. 모든 입기슬롯이 동시에 개폐되기 때문에 개별적 제어는 불가능하며, 필요할 경우 수동 조작을 통해 임의로 개구 면적을 조절할 수 있다.



(a) 외부 전경



(b) 내부 구조



(c) 육계사 외부 설치된 방풍벽



(d) 육계사 내부 입기슬롯

그림 2-2-6 대선 농장 내·외부 구조 및 입기슬롯



그림 2-2-7 대선 농장의 시설 제어 시스템

2.2.3 전북 익산 문기 농장 및 복성 농장

환기 방식에 따른 육계사 내부의 최적 환경 모니터링 센서 위치를 선정하기 위하여 강제환기와 자연 환기식 육계사에서 측정된 환경 모니터링 데이터를 이용하고자하였다. 해당 실험 농가는 전라북도 익산 시 소재의 강제환기식 육계사인 문기 농장과 자연환기식 육계사인 복성 농장으로 선정하였다.

강제환기식 육계사인 문기농장의 경우에는 폭 12.0m, 길이 100.0m, 측고 2.4m, 동고 4.5m의 육계사이며, 41,000수의 육계가 사육되었다. 육계사 측벽의 2.0m 높이에 설치된 총 30개의 입기슬롯 (0.2m × 1.1m)으로부터 외부의 공기가 유입이 된다. 입기슬롯의 설치 간격은 4.8m이다. 또한 육추기를 이용하여 난방을 실시하였으며, 육계사 내부에 2열로 3.3m 간격으로 총 14대가 설치되었다 (그림 2-2-8(a)). 자연환기 방식을 채택하고 있는 복성농장의 경우에는 폭 12.0m, 길이 70.0m, 측고 2.3m, 동고 4.2m의 규격으로 이루어져있으며, 60,000수의 육계가 사육된다. 양 측벽에 자연환기를 위한 윈치 커튼 (1.7m × 65m)이 설치되어 있으며 추가적인 환기를 위해 지붕에 5개의 배기구가 설치되어 있다

(그림 2-2-8(b)). 또한 동절기 및 육추 초기의 난방을 위하여 2대의 열풍기가 배치되어있으며, 환기방식에 따른 각 육계사의 구체적인 정보는 표 2-2-2과 같다.

표 2-2-2 적정 센서 위치 선정을 위한 대상 농가 정보 (문기 농장 및 북성농장)

강제환기식 육계사 (문기 농장)	폭	길이	측고	동고
	12.0m	100.0m	2.4m	4.5m
입기구 위치	입기구 규격	난방 방식	난방기 수량	
높이 2m (4.8m 간격)	0.2m × 1.1m	육추기	14대 (2열, 3.3m 간격)	
자연환기식 육계사 (북성 농장)	폭	길이	측고	동고
	12m	70m	2.3m	4.2m
	입기구 위치	입기구 규격	난방 방식	난방기 수량
	양 측벽 중앙	1.7m × 65m	열풍기	2 EA



(a) 북성 농장



(b) 문기 농장

그림 2-2-8 적정 센서 위치 선정을 위한 대상 농가 내부 구조

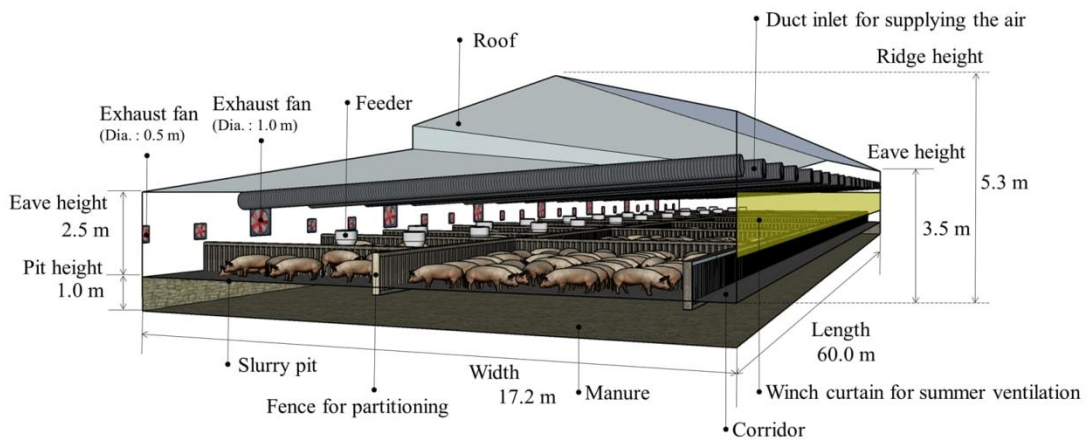
2.2.4 경남 하동 바른양돈

실험대상 농가는 비육돈의 사육두수가 약 600~1,100 마리가 안정적으로 사육되고 있는 경상남도 하동군에 위치한 농가를 선정하였다. 대상농가의 비육돈사 시설은 폭 17.2m, 길이 60.0m로 이루어져 있다. 그림 2-2-9과 같이 비대칭 지붕형태를 나타내고 있다. 가장 높은 동고 5.3m, 입기측 측고 4.3m, 배기측 측고 2.5m로 구성되어 있으며, 돈사 내부에서 외부로 배출되는 악취로 인한 주민들의 민원을 해결하기 위하여 다음 그림 2-2-10과 같이 바이오커튼 시설을 적용하여 악취 저감을 위한 노력이 이루어지고 있는 비육돈사이다.



(a) 하동 바른양돈 항공사진
(위도 35° 4' 12", 경도 127° 47' 40")

(b) 하동 바른농장 내 비육돈사 전경



(c) 비육돈사의 3차원 구조 모식도

그림 2-2-9 대상농가 (하동 바른양돈)의 지리적 위치 및 비육돈사 구조



(a) 비육돈사 외부에 설치된 바이오커튼

(b) 바이오커튼 내부 모습

그림 2-2-10 대상농가 (하동 바른양돈)의 악취 저감을 위한 바이오커튼 설치 및 내부 모습

비육돈사의 환기는 부압식 강제환기 방식을 계절과 관계없이 적용하고 있다. 겨울철 입기는 측벽에 약 2.6m 높이에 약 3.15m 간격으로 설치되어있는 직경 0.5m 입기덕트 20대를 통하여 입기된다. 입기덕트

의 천공된 입기구는 직경 0.05m, 0.3m 간격으로 1열당 50구, 총 100구로 구성되었다. 여름철 입기의 경우에는 입기덕트와 측벽의 윈치커튼 (1.5m × 60.0m)을 동시에 이용하여 실시한다 (그림 2-2-11). 배기팬은 직경 0.5m와 직경 1.0m의 배기팬이 각각 17대와 6대로 구성하여 2.5m 간격으로 설계되었으며, 돈사 내부 현재온도, 설정온도, 온도편차를 통하여 가변식 배기팬의 풍량이 조절되는 1차, 2차, 3차 단계별 배기팬의 위치는 그림 2-2-12와 같다. 환기 제어 시스템에 적용된 환기 제어 논리의 경우에는 그림 2-2-13와 같이 단계별 배기팬과 관계없이 설정된 최소환기량, 최대환기량과 설정 온도편차를 통하여 돈사 내부의 온도 환경에 따라 비례 제어 되었다. 이 때, 해당 비육돈사의 단계별 설정온도는 25°C, 28°C, 32°C로 유지하며 온도편차는 5°C로 설정되었다.



(a) 비육돈사 내부 현황 및 입기덕트



(b) 외부 입기덕트 및 윈치커튼 현황



(c) 비육돈사 내 배기팬의 설치현황 (직경 0.5m, 1.0m 배기팬)

그림 2-2-11 대상농가의 가스 및 냉난방 공조 조절을 위한 입·배기구 설비 현황

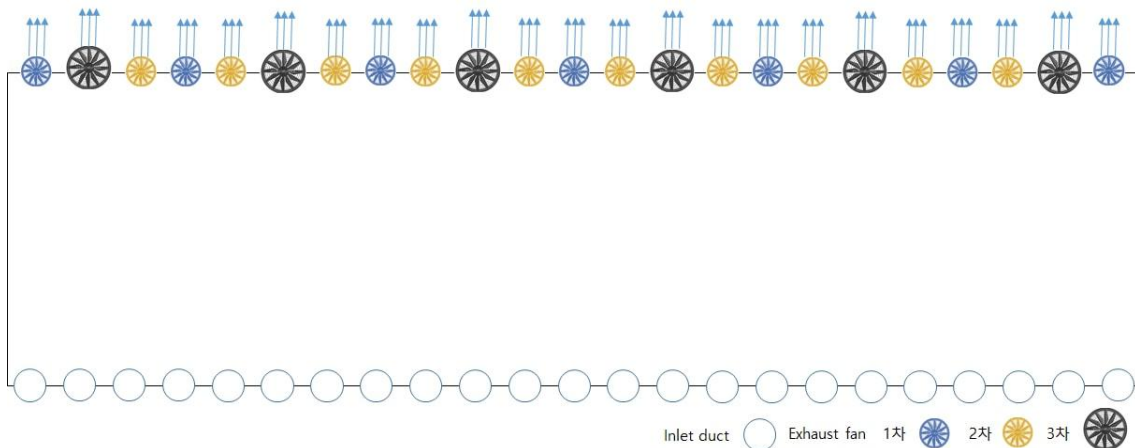


그림 2-2-12 하동 바른양돈 내 비육돈사의 입기덕트 및 단계별 배기팬 설치 현황

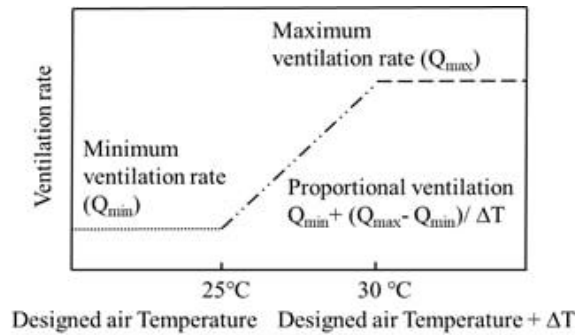
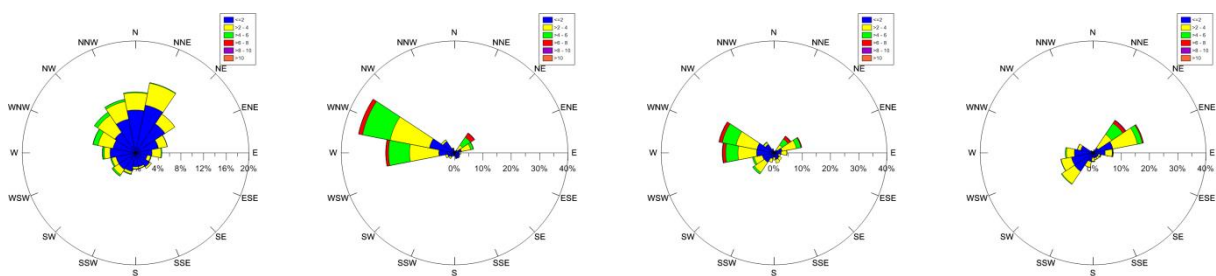


그림 2-2-13 하동 바른양돈에 적용된 환기 제어논리 및 1단계 배기팬의 설정온도 및 온도 편차

외부 기상 (풍속, 온도, 습도 등)은 시설 내부의 생육 환경에 영향을 미치는 주요한 요소로 작용하기 때문에 사계절이 뚜렷한 우리나라의 기후적 특성을 고려하여 대상시설이 위치하고 있는 인접한 기상관측소에서 제공하는 각 계절별, 주야간동안의 AWS자료 (2006~2015년의 기상자료)를 분석하였다. 이때, 계절의 구분은 육계사와 동일하게 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월), 겨울 (12~2월)으로 하였으며, 주·야간은 일출 직후부터 일몰 직전까지 (주간)와 일몰 직전부터 일출 직후까지 (야간)로 각 계절에 따라 시간을 상이하게 하여 분석하고자 하였다. 또한, 일반적으로 초과위험률을 고려한 외기온도를 의미하는 TAC (Technical Advisory Committee) 온도 2.5%를 분석하였다.

봄철의 주풍향은 서북서였으며, 세부적으로는 주간에 서풍, 야간에 서북서풍이 주풍에 해당했으며, 여름의 경우는 전반적으로 북동풍과 남서풍의 비율이 높았다. 전체 기간과 주간의 주풍이 동북동풍인 반면 야간에는 북동풍이 주풍에 해당했고 가을철에는 전체 기간에 대하여 북동풍을 나타냈다. 그러나 야간의 경우에는 주풍 방향과 큰 차이는 없지만 동북동풍의 방향을 나타냈다. 겨울철에는 전체 기간과 주간, 야간 모든 시기에서 주풍향이 서북서풍으로 나타났다 (그림 2-2-14). 대상지역의 평균 온도는 봄철 15.9°C, 여름철 26.1°C, 가을철 19.4°C, 겨울철 5.3°C를 나타냈으며, TAC (Technical Advisory Committee) 2.5%에 해당하는 온도는 여름철 33.4°C, 겨울철 -3.1°C로 분석되었다. 평균 습도는 봄철 56.6%, 여름철 78.4%, 가을철 63.0%, 겨울철 53.1%로, 육계사와 마찬가지로 전국 평균 수치인 연중 60~75%, 7월과 8월 70~85%, 3월과 4월 50~70%와 유사하였다.



가을 전체 (9~11월) 겨울 전체 (12~2월) 봄 전체 (3~5월) 여름 전체 (6~8월)

그림 2-2-14 하동 바른양돈 (비육돈사)의 지난 10년간 (2006년 2015) 외부기상 분석 결과

2.1.4 홍성 비육돈사 농장

돈사에 대한 센서의 최적 위치선정을 위하여 충남 홍성군 갈산면에 위치한 농장에서 측정한 환경 모니터링 데이터를 이용하였다. 총 10여동에 모든 320두, 육성돈 약 900두, 비육돈 약 900두, 자돈과 이 유돈 약 900두로 총 약 3,200두수를 사육하였다. 그 중에서 실험은 길이 52.0m, 폭 8.5m, 천장 높이

3.7m의 돈사에서 수행하였다. 홍성 비육돈사는 50 ~ 90일령의 자돈을 사육하기 위하여 설계되었으나 환경조절에 어려움이 있어 상대적으로 환경 변화에 대한 적응력이 높은 70 ~ 110일령의 자돈을 사육하고 있다. 홍성 돈사의 환기구조는 천장에 설치된 2개의 32인치 가변식 덕트를 통하여 배기하고 부압식으로 북쪽 벽의 상단에 위치한 입기슬롯들을 통하여 외부의 신선한 공기가 유입되도록 하였다. 환기는 돈사 정중앙의 높이 약 2.0m에 설치된 온도 센서를 통하여 내부 환경이 조절되고 있었으며 하절기의 경우 온도가 높아짐에 따라 북쪽 측벽에 설치되어 있는 두개의 팬이 출입문에 가까운 쪽 부터 순차적으로 가동되도록 설계되었다 (그림 2-2-15).



그림 2-2-15 홍성 농장의 비육돈사 내부

2.3 현장 실험 장비

2.3.1 온·습도 측정 장치

축사 내부에서 발생하는 사육 환경적 문제점을 식별하고 전산유체역학모델의 정확도를 검증할 뿐만 아니라 각 환경변수에 따른 오염물질의 발생량 추정 및 이에 따른 필요환기량을 산정하고자하였다. 이를 위하여 온·습도 트랜스미터 (HTX 75C-D-HT, Dotech Inc., Korea)를 이용하여 축산시설 내부에서 형성되는 온도, 습도를 모니터링 하였다. 온·습도 트랜스미터를 유선으로 연결망을 구성하기 위하여 USB 타입의 RS 485 변환기, DC 24V 전원공급장치, 온·습도 트랜스미터, 통신 케이블 (FTP; Foiled Twisted Pair)을 이용하였다 (그림 2-3-1). 분진으로 인한 감지부의 오염을 최소화하기 위하여 금속 메쉬 필터가 부착되었으며, 표 2-3-1과 같은 성능을 갖는다. 통신 케이블은 일반적으로 가장 많이 이용되고 있는 UTP (Unshielded Twist Pair) 보다 절연 기능이 탁월한 FTP 케이블을 적용하였으며, 전송속도 및 대역폭의 차이로 인하여 카테고리 (CAT; Category) 6E 제품을 이용하여 내부 네트워크를 구축하고자 하였다 (그림 2-3-2).

축산시설은 다른 농업기반시설과 달리 계절과 관계없이 축산질병으로부터 위협을 받고 있으며, 축산질병의 확산정도에 따라 이해당사자들의 이동 및 출입제한이 이루어진다. 이러한 경우를 대비하여 실험농장은 가능한 원격 데이터 송·수신이 가능하도록 시스템 체계를 구축하였다. 또한 축산시설 내부에서의 온·습도 모니터링은 환기팬, 순환팬, 열풍기 등의 내부 환경조절 장치에 의하여 영향을 받기 때문에 이들 장치에 대한 운영 정보 데이터를 원격 송·수신되도록 구축하였으며 다음 그림 2-3-3와 같다.

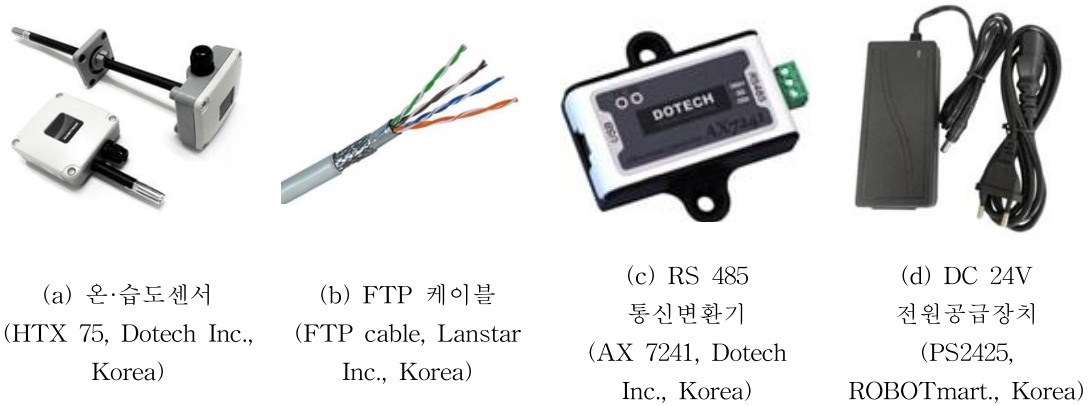


그림 2-3-1 온·습도 모니터링을 위한 네트워크 구성 실험 장비

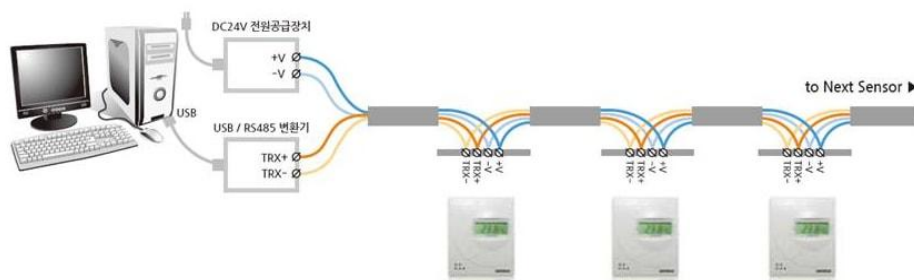


그림 2-3-2 온·습도 모니터링을 위한 센서 결선 모식도

표 2-3-1 온·습도 센서 장비 제원 (HTX 75C-D-HT, Dotech Inc., Korea)

	Contents	Values
Air temperature	Measurement range	-30 ~ 80 °C
	Accuracy	± 0.3 °C
Relative humidity	Measurement range	RH 0 ~ 100 %
	Accuracy	± 0.2 %

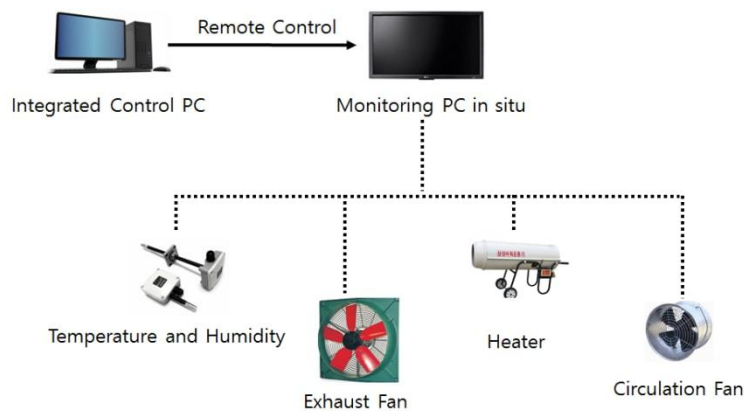


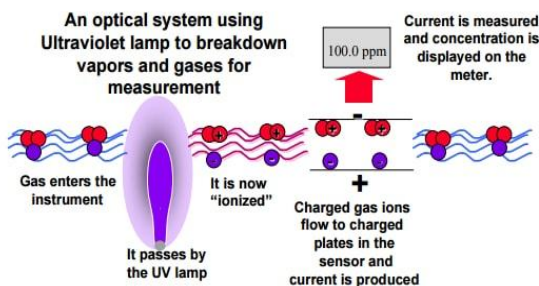
그림 2-3-3 축산시설 내 온·습도 측정 및 공조 시스템의 운영 정보 모니터링을 위한 원격 데이터 송·수신 체계 구축 모식도

2.3.2 가스 및 분진 측정 장치

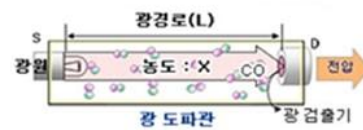
일반적으로 국내 축산시설에서는 암모니아 (NH_3)와 이산화탄소(CO_2)에 대한 현장 모니터링은 거의 이루어지지 않고 있다. 온·습도 센서와 비교하여 초기 구입비 및 유지관리비가 비싸기 때문에 제어에는 더욱이 적용되지 않는다. 본 연구에서는 온·습도와 가스 및 분진의 상관관계를 분석하고 이를 통한 관계식으로부터 축산시설 내부의 가스 및 분진 발생량을 추정한 뒤, 가스 및 분진 발생량으로부터 필요환기량을 산정하고자하였다. 따라서 축산시설 내부 온·습도 이외에도 내부 가스 및 분진의 농도 측정을 동시에 실시하였다. 실시간 데이터 저장이 가능한 복합가스측정기 (MultiRAE IR, RAE system Inc., U.S.A.)를 이용하여 5초 간격으로 측정을 실시하고 (그림 2-3-4), 해당 측정기의 사양은 다음 표 2-3-2와 같다. 복합가스측정기는 전기화학적 원리를 이용한 센서가 장착되어 암모니아 및 이산화탄소에 대한 동시 측정 및 실시간 데이터 저장이 가능하다. 암모니아 측정의 경우에는 그림 2-3-5(a)와 같이 UV램프 통과시에 유해가스 물질을 이온화시켜 특성에 따른 차이를 광범위한 농도로 정확하게 측정하는 광 이온화 검출기 (PID; Photo-Ionization Detector) 기술을 이용한다. 또한 이산화탄소의 경우에는 가스 분자별 특징 파장의 광을 흡수하는 특성을 이용하여 가스 농도에 따른 광 흡수율을 측정하여 농도를 검지하는 비분산적외선 흡수법 (NDIR; Non-Dispersive Infrared absorption)을 이용한다 (그림 2-3-5(b)). 본 연구에서는 내장된 NDIR에 의하여 CO_2 (ppm)을 측정하고 “Smart” Toxic 센서를 통하여 NH_3 를 환기팬 등의 공조 시스템의 가동에 따른 농도를 분석하고자 하였다.



그림 2-3-4 실험 축사 내부 암모니아 및 이산화탄소 측정에 이용된 복합가스측정기 (MultiRAE IR, RAE system Inc., U.S.A.)



(a) 암모니아 측정을 위한 PID 기술 모식도



(b) 이산화탄소 측정을 위한 NDIR 기술 모식도

그림 2-3-5 복합가스측정기의 암모니아 (NH_3) 및 이산화탄소 (CO_2) 측정 원리 모식도

표 2-3-2 가스 농도 측정 장비 (MultiRAE IR) 제원

측정 방법	Non-Dispersive Infrared, Photo-Ionization Detector	
측정 범위	이산화탄소	0~20,000ppm
	암모니아	0~50ppm
감도	이산화탄소	10ppm
	암모니아	1ppm
포집 유량	0.15~0.25 L/min	
가동 환경	온도 -20°C~45°C, 상대습도 0%~95%	
크기	12 cm × 7.6 cm × 4.8 cm	
중량	0.454 kg	

흡입성 및 호흡성 분진 측정의 경우 Aerosol spectrometer (Grimm Inc., Germany)를 이용하여 6초 간격으로 데이터를 측정하였다 (그림 2-3-6). Aerosol spectrometer는 광산란 측정법을 이용하여 공기 중 부유 분진에 대한 입경별 개수 및 농도를 측정할 수 있는 장치로 본 실험에 적용된 기기는 0.001 mg의 측정 감도로 0.001~100 mg m⁻³의 측정범위를 지니고 있다. 그외 기기의 사양은 다음 표 2-3-3과 같으며, RS-232C를 통한 원격 운전이 가능하고 광산란 방식을 이용한 농도 및 개수 측정이 외에 47 mm PTFE 필터를 기기 내 삽입하여 장시간에 대한 중량측정법 또한 가능하다.



그림 2-3-6 축산시설 내부 분진 측정을 위한 휴대용 측정기
[Aerosol spectrometer (Grimm Inc., Germany)]

표 2-3-3 분진 농도 측정 장비 (aerosol spectrometer) 제원

측정 방법	레이저 산란 및 필터 포집	
측정 범위	분진 입경	31 개 채널 (입의 설정 가능)
	농도	0.001~100mg m ⁻³
포집 유량	1.2 L min ⁻¹ (±5%)	
감도	1 particle L ⁻¹ , 0.001 mg	
가동 환경	온도 5~45°C	
크기	24cm × 12cm × 6cm	
중량	2.5kg	

2.3.3 배기팬 환기량 측정 장치

배기팬의 실제 환기량을 측정하기 위하여 자체 제작한 풍량계 (Aero-flow meter)와 미압측정기 (TSI

Inc., USA)를 이용하였다 (그림 2-3-7). 풍량계는 직경 0.5m와 1.0m 총 2가지의 풍량계를 이용하였고, 배기팬에서 배기되는 기류의 관류 형성을 위하여 길이 0.5m의 원형 덕트가 풍량계와 함께 설치되었다. 풍량계에는 피토관이 존재하며, 피토관의 개수와 위치는 ANSI/AMCA Standard 210 기준을 따른다¹²⁾. 베르누이의 정리에 따라 피토관과 압력계를 통하여 해당 위치의 동압력을 전압력과 정압력의 차이를 통해 측정하고 유속을 산정하였다. 사용된 압력계의 제원은 다음 표 2-3-4와 같다. 모든 유체 유동을 해석하는데 있어서 기본 방정식인 베르누이 방정식을 따른다는 가정 하에 같은 대기압 상태에서 p 는 서로 같으며 유선 상의 유동에서 ρgh 는 0이거나 무시할 수 있을 정도로 매우 작기 때문에 식 (1)은 식 (2)로 간주할 수 있다. 따라서 미압측정기를 이용하여 환기시스템의 작동에 따라 1분간 동압을 측정하여 이에 대한 평균치를 계산하여 해당 조건에서의 풍속값을 산정하는 방식으로 3회 반복 실험을 수행하였다. 단, 배기팬의 환기량 측정에 있어서 풍량계를 설치하기 어려운 위치의 배기팬은 열선풍속계 (TESTO Inc., USA)를 이용하여 배기되는 풍속 측정 (9 points)을 통하여 풍량을 계산하고자 하였다.



$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = p + q + \rho gh = constant \quad \text{식 (1)}$$

$$q = \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{식 (2)}$$

여기서, v : 유선 내 한 점에서의 유동 속도, g : 중력가속도, h : 기준면에 대한 그 점의 높이, p : 그 점에서의 압력 (정압력), ρ : 유체의 밀도, $q = \frac{\rho v^2}{2}$: 동압력 이다.

표 2-3-4 압력계 (DP-CALC Micromanometer 5815)의 제원

	압력차	유속
측정 범위	-3,735~3,735 Pa	1.27~78.7 m s ⁻¹
정확도	±1 Pa	±1.5%
감도	0.1 Pa	0.1 m s ⁻¹

2.3.4 기타 환경변수 측정 장치

축사 내·외부에서 발생하는 제어시스템 운영 및 환경 변화에 따른 축산시설 내 미기상 변화 분석 및

12) ANSI/Air Movement and Control Association (AMCA). (1985). ANSI/AMCA Standard 210-1985, Laboratory Methods of Testing Fans for Rating.

CFD 시뮬레이션을 위한 초기 경계조건 입력값을 위하여 다양한 실험 장비를 이용하여 환경변수를 측정하였다. 그림 2-3-8(a) T-type 써머커플 (Omega Engineering Inc., Stamford, CT, USA) 및 그림 2-3-8(b) 데이터로거 (GL-820; Graphtec Inc., Jessup, MD, USA)를 이용하여 실험 비육돈사 및 육계사 내 열 환경에 대한 실시간 기록을 실시하였으며 축산시설 내부 벽면 및 바닥 온도, 가축의 체표면 온도 등을 파악하기 위하여 그림 2-3-8(d) 열화상카메라 I40 (FLIR Inc., USA)을 이용하여 정기적으로 측정하였다. 또한, 시설 내부 상대습도 및 내부 온도의 경우 그림 2-3-8(c) HOBO 센서 (UX100-003; Onset Computer Co., Bourne, MA, USA)를 이용하여 측정하였으며 축산시설 내 위치한 온·습도 센서의 오작동 및 편차 발생 유무에 대한 판별하기 위하여 적용되었다. 이 때, HOBO 센서의 장비 제원은 다음 표 2-3-5과 같다. 또한 외부 풍향, 풍속, 일사량, 강수량, 외부 온·습도 등과 같은 기상 자료 확보를 위하여 그림 2-3-8(e) 간이 기상대 (WatchDog 2700; Spectrum Tech, Inc., Aurora, IL, USA)를 이용하였으며, 세부 정보는 표 2-3-6와 같다. 이 때, 간이 기상대로부터 저장되는 환경변수는 1분 간격으로 간이 기상대 내장형 메모리에 저장하였다.



(a) T-type 써머커플 (Omega Engineering Inc., Stamford, CT, USA)
 (b) 데이터로거 (GL-820; Graphtec Inc., Jessup, MD, USA)
 (c) HOBO 센서 (UX100-003; Onset Computer Co., Bourne, MA, USA)
 (d) 열화상카메라 I40 (FLIR Inc., USA)
 (e) 간이 기상대 (WatchDog 2700; Spectrum Tech, Inc., Aurora, IL, USA)

그림 2-3-8 축산시설 내·외부 환경 모니터링을 위한 기타 측정 기기

표 2-3-5 HOBO 센서 장비 제원 (UX100-003; Onset Computer Co., Bourne, MA, USA)

Sensors	Range	Accuracy
Temperature sensor	-20 to 70 °C	± 0.21 °C
RH sensor	15 to 95 %	± 3.5 %

표 2-3-6 간이 기상대 장비 제원 (WatchDog 2700; Spectrum Tech, Inc., Aurora, IL, USA)

Seonsors	Specifications	Measurement accuracy
Wind speed	0, 1 to 322 km h ⁻¹	±3 km h ⁻¹ (±5%)
Wind direction	1°	±3°
Air temperature	-32 to 100°C	±0.6°C
Relative humidiry	10 to 100 % (5 to 50°C)	±3%
Dew point	-73 to 60°C	±2°C
Rainfall	0.25 mm	±5% at 5 cm hr ⁻¹
Solar radiation	0 to 1,500 W m ⁻²	±5%

2.4 전산유체역학 (Computational Fluid Dynamics, CFD)

축산시설 (비육돈사, 육계사) 내 환기 성능 모의 및 기존 축사의 환기 운영에 대하여 도출된 문제점을 개선하기 위한 방안을 모색하기 위하여 전산유체역학 (Computational Fluid Dynamics, CFD)를 이용하였다. 전산유체역학은 유체의 거동을 컴퓨터를 통하여 수치적으로 해석하는 유체역학의 한 분야이며, 비선형 편미분 방정식인 Navier-Stokes 방정식을 FDM (Finite Difference Method), FEM (Finite Element Method, FVM (Finite Volume Method) 등의 방법으로 공간 도메인 (Spatial domain)을 미소의 작은 공간 격자 (Volume mesh)로 이산화 과정을 거친다. 이 후, 각 격자에 대하여 대수 방정식으로 변환하고, 수치 알고리즘을 적용하여 유체의 유동 현상을 정성적 및 정량적으로 해석하는 기법이다 (그림 2-4-1). 전산유체역학을 이용하여 수치해결을 도출할 경우에 있어서 높은 정확도와 신뢰성을 확보하기 위해서는 실제 분석하고자 하는 대상에 대한 정확한 모델의 설계와 일련의 검증 과정이 요구되는 단점이 있다. 그러나 외부의 환경요건을 동일하게 유지하면서 다양한 환경조건에 따른 분석 대상의 수치해 모의 및 분석이 가능하기 때문에 많은 연구에 적용되고 있다. 유체 및 에너지의 유동현상의 수치해석 방법은 질량, 운동량, 에너지 보존법칙을 기초로 하며, 각각의 보존방정식은 다음 식 (3) ~ 식 (5)과 같다 (ANSYS FLUENT Theory Guide, 2013).

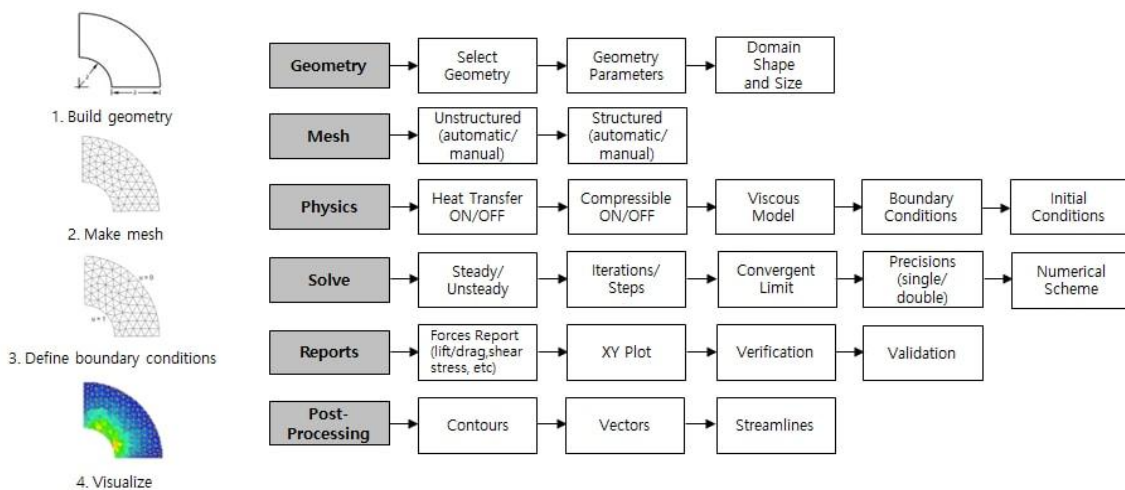


그림 2-4-1 CFD 시뮬레이션 분석 절차 및 수치해석 구조 특성

$$\text{질량 보존 방정식} : \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m \quad \text{식 (3)}$$

$$\text{운동량 보존 방정식 : } \frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i} \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad \text{식 (4)}$$

$$\text{에너지 보존 방정식 : } \frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{u}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\tau_{eff} \cdot \vec{u})) + S_h \quad \text{식 (5)}$$

여기서, ρ : density (kg m^{-3}), \vec{u} : velocity (m s^{-1}), P : static pressure ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), S_m : mass source term by chemical reaction (kg m^{-2}), τ : stress tensor ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), \vec{g} : acceleration of gravity (m s^{-2}), \vec{F} : external force (kg m s^{-2}), E : total energy ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1}$), K_{eff} : effective conductivity ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-3} \text{K}^{-1}$), T : temperature (K), τ_{eff} : effective stress tensor ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), S_h : enthalpy rise by chemical reaction or radiation ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-3}$)

2.5 현장모니터링

2.5.1 온·습도 측정

2.5.1.1 육계사 (이레농장) 온·습도 측정

대상 육계사 농장의 내·외부 미기상 환경 (온도, 습도 등)을 측정함으로써, 기존 시설의 환경적 문제점을 도출하고 축사 내부 다점 측정 데이터 기반 환기 알고리즘 개발하기 위하여 가스 및 분진과의 상관관계 규명을 위하여 축사 내부의 온·습도를 2016년 11월 14일부터 2017년 8월 15일까지 약 9개월간 6회전의 육계사 내부 환경 모니터링 하였다. 온·습도 센서 (Dotech Inc., Korea) 및 데이터 저장을 위하여 노트북 (quad core i5)을 설치하였다. 온·습도 센서는 바닥으로부터 1.0m 높이에 길이방향으로 3열, 3개 지점에 기본적으로 설치하였다. 또한, 길이방향으로의 온·습도 변화를 더욱 면밀히 모니터링하기 위하여 중앙라인 P-2과 P-5, P-5과 P-12사이에 P-4와 P-10가 추가적으로 설치하였다. 또한 온도의 수직 분포를 측정하기 위하여 바닥으로부터 각각 2.5m와 4.0m 높이에 P-7, P-8이 설치되었으며, 외부 기상 모니터링을 위하여 센서를 제어실 외벽에 일사가 직접적으로 영향을 미치지 않는 처마 밑에 외부 기상용 센서를 설치하였다. 육계사 내부에 설치된 센서 위치는 다음 그림 2-5-1과 같으며, 설치된 온·습도 센서는 1초 간격으로 실험 노트북 내 메모리에 자동 저장되도록 구축하였다.

육계사 내부의 높은 습도와 분진으로 인하여 시설 내부 계측 센서의 파손 및 정확도가 하락될 수 있다. 따라서 HOBO UX100-003 센서를 이용하여 벽체를 비롯한 다른 센서와 동일한 위치의 온도 및 상대습도를 측정하였다. 해당 측정치와 다른 센서의 측정치를 비교하여 데이터의 적정성과 보정 및 수리의 필요 여부를 판단하였다. 또한 외부의 일사량 및 내부의 온도변화에 따른 실내 벽체에서 작용하는 온도 변화를 측정하기 위하여 축사 내 측벽, 지붕 등 4지점에 열전대 (Thermal couple-T type)을 설치하여 1초 간격으로 제어실 내부에 설치된 데이터로거 (GL-820)를 통하여 5초 간격으로 온도 변화를 모니터링 하고자 하였다 (그림 2-5-2, 그림 2-5-3). 추가적으로 열화상카메라 (I40; FLIR Inc., U.S.A)를 이용하여 사육 중인 육계의 체온, 바닥온도 등을 측정하였다. 측정한 육계사 내부의 온도와 상대습도 환경은 육계의 일령별 최적 온·습도와 비교하여 적절성을 판단하였다 (표 2-5-1). 또한 육계사 내부의 환경에 영향을 미치는 환기 레벨 및 온풍기 가동 정보 등을 기록하여 측정되는 육계사 내부 환경 모니터링 데이터의 분포에 대한 원인 분석에 참고하였다. 이 때, 육계사에 적용되는 환기 레벨 및 온풍기 가동 정보는 환경 조절 관리 프로그램 내 저장 기능이 별도로 없기 때문에 모니터상에 표기 되는 프로그램의 화면을 5초 간격으로 캡처 하였으며, 추후 캡처된 화면을 광학 문자 인식 방법을 적용하여 캡처된 화면에서 배기팬의 환기 레벨 및 온풍기, 순환팬 가동 여부를 판단하였다.

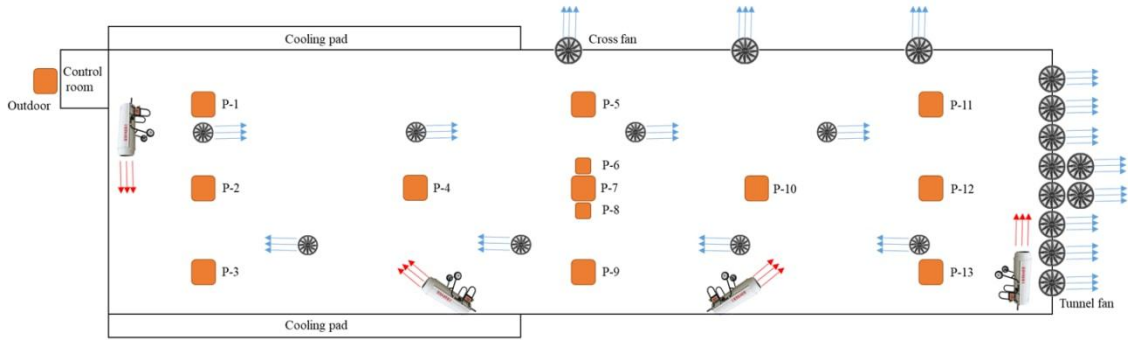
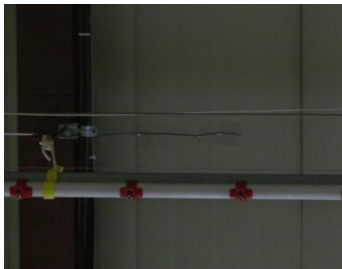


그림 2-5-1 육계사 내 온·습도센서 배치, 공조 및 냉난방을 위한 기기의 배치 현황



지붕면 벽체온도측정을 위한 열전대 설치



측면 벽체온도측정을 위한 열전대 설치

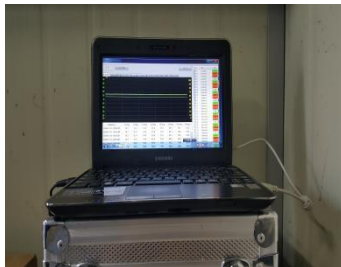


육계사 내부 온·습도 측정을 위한 센서 설치

그림 2-5-2 벽면 온도 모니터링을 위한 열전대 및 온·습도 모니터링을 위한 센서 설치 현황



벽체온도 모니터링 데이터로거 (GRAPHTEC Inc., USA)



온·습도모니터링 노트북 (SAMSUNG Inc., Korea)



노트북 및 데이터로거 설치

그림 2-5-3 데이터 로깅 및 저장을 위한 노트북 및 데이터로거 설치 현황

표 2-5-1 육계의 일령별 적정 사육 온도 및 습도 (농촌진흥청, 2016¹³⁾)

13) 농촌진흥청 (RDA). (2016). 환절기에 중요한 돼지 사양관리 요령 6가지

일령	적정 온도 (°C)	적정 습도 (%)
1 ~ 2	34	70
3 ~ 4	32	70
5 ~ 7	30 ~ 32	70
8 ~ 14	28 ~ 29	65
15 ~ 21	26 ~ 27	60
22 ~ 28	24 ~ 25	60
29 ~ 35	22 ~ 23	60
36 ~ 42	21 ~ 22	60

2.5.1.2 육계사 (문기 및 복성 농장) 온도 모니터링

축산시설 내부 환경의 이상적인 제어와 운영을 위해서는 정확한 환경 측정이 뒷받침 되어야 한다. 육계사의 경우 환기 혹은 온풍기의 위치 등 비대칭적인 구조로 인하여 내부에 불균일한 환경이 형성될 수 있다. 따라서 시설을 대표하는 환경의 평가를 위해선 다수의 센서를 설치해야 하지만 경제적인 원인으로 인하여 실제 농가에서는 제한된 개수의 센서만을 설치하는 실정이다. 육계사 내부의 센서 위치에 대한 최적 위치 선정을 위하여 대표적인 환경 변수인 온도 측정 데이터를 활용하고자하였다.

현장실험동안 설치된 센서 위치를 대상으로 센서의 수에 따른 적정 센서 위치 조합을 선정하고자하였다. 이 때, 최대한 많은 지점의 측정 데이터가 요구됨에 따라, 문기 농장과 복성 농장에서 각 15 지점의 온도 데이터를 활용하였다. 대상시설 내부의 온도를 모니터링하기 위하여 각 농장의 육계 높이 (0.4m)에 15개씩의 열전대 (TX-G 0.5mm × 1P)가 설치되었다 (그림 2-5-4). 모니터링 지점은 두 농장 모두 길이방향으로 5간격, 폭 방향으로 3간격으로 나뉜 격자 형태로 배치되었다. 계절에 따른 시설 내부 열 환경의 분포 및 적정 센서의 위치를 평가하기 위하여 각 세 번의 사육 기간에 대한 장기간 모니터링을 실시하였다. 실험 당시 기기의 오작동으로 인하여 발생한 결측치는 인접한 센서의 측정치를 통한 선형 보간을 시행하여 보완하였다. 자연환기식 육계사의 경우 환기 효율과 내부 환경에 대한 시설 외부 풍환경의 영향이 지배적이다. 자연환기식 육계사의 내부 온도 분포와 선정된 센서 위치의 원인 분석을 위하여, 대상 육계사 인근 설치된 기상대에서 측정된 외부 풍속 및 풍향을 분석하였다.

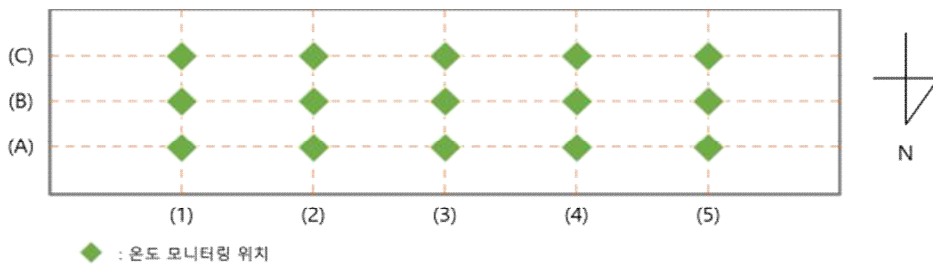


그림 2-5-4 문기 농장과 복성 농장의 내부 온도 모니터링 지점

2.5.1.3 비육돈사 (바른양돈) 온·습도 모니터링

2016년 11월 11일부터 2017년 12월 31일까지 실험 비육돈사 내·외부의 미기상 환경 (온도, 습도 등)을 분석하기 위하여 온·습도 센서 (Dotech Inc., Korea) 및 데이터로깅을 위하여 노트북 (quad core i5)을 설치하였다 (그림 2-5-5). 설치된 온·습도 센서는 1초 간격으로 실험 노트북 내 메모리에 자동

저장되도록 구축하였다. 해당 비육돈사의 경우에는 입기 및 배기시스템이 대칭적으로 이루어져있기 때문에 입기되고 배기되는 방향이 그림 2-5-6와 같이 획일적인 공기의 흐름 특성을 나타낸다는 가정하에 돈사 내부에 길이 방향 60.0m에 전체적으로 센서를 설치하지 않고 길이방향 10.0 m 구간에 집적으로 센서를 설치하고자 하였다 (그림 2-5-7). 온·습도 센서는 비육돈의 크기 및 행동습성을 고려하여 센서의 손상을 방지하고 유지보수의 용이성을 고려하여 바닥으로부터 1.5m 높이에 길이방향으로 3열, 3개 지점에 기본적으로 설치하였다. 또한, 길이방향으로의 온·습도 변화를 더욱 면밀히 모니터링하기 위하여 그림 2-5-7과 같이 중앙라인 P-2과 P-8사이에 P-4를 설치하였으며 해당 지점에 높이별 온도 특성을 모니터링하기 위하여 3.0m, 4.5m 높이에 2대의 추가적인 센서를 설치하였다. 그리고 외부의 입기되는 기류의 특성을 분석하기 위하여 그림 2-5-5 (d)와 같이 외부 기상 측적용 센서를 설치하였다. 이때, 직접적인 일사에 의한 온도가 과대 측정되는 것을 방지하기 위해 일사가 영향을 미치지 않는 곳을 선정하였다. 또한 외부의 일사량 및 내부의 온도변화에 따른 실내 벽체에서 작용하는 온도변화를 측정하기 위하여 측사 내 측벽, 지붕 등 4지점에 열전대 (Thermal couple-T type)을 설치하여 1초 간격으로 온도변화를 모니터링 하고자 하였다.

비육돈사의 경우에는 내부의 높은 습도로 인하여 장시간 측정시에는 그림 2-5-8과 같이 센서 분진이 쌓이거나, 응결 현상으로 인하여 센서의 오차를 발생할 가능성이 존재한다. 따라서 호보 센서를 이용하여 주기적으로 측사 내부에 온·습도 센서의 측정값과 비교를 통하여 센서의 오작동을 판별하였다. 또한 추후 CFD 시뮬레이션의 벽체 경계조건 정의를 위하여 열전대와 데이터로거를 이용하여 벽체 온도를 측정하였으며, 추가적으로 열화상카메라 (I40; FLIR Inc., U.S.A)를 이용하여 사육 중인 돼지의 체온, 바닥온도 등을 측정하였다. 비육돈사 내부에서 측정된 온·습도 데이터의 경우에는 표 2-5-2와 같이 축산과학원 또는 관련 문헌에서 제시하고 있는 적정 또는 권장하는 사육환경과 비교하고자 하였다.

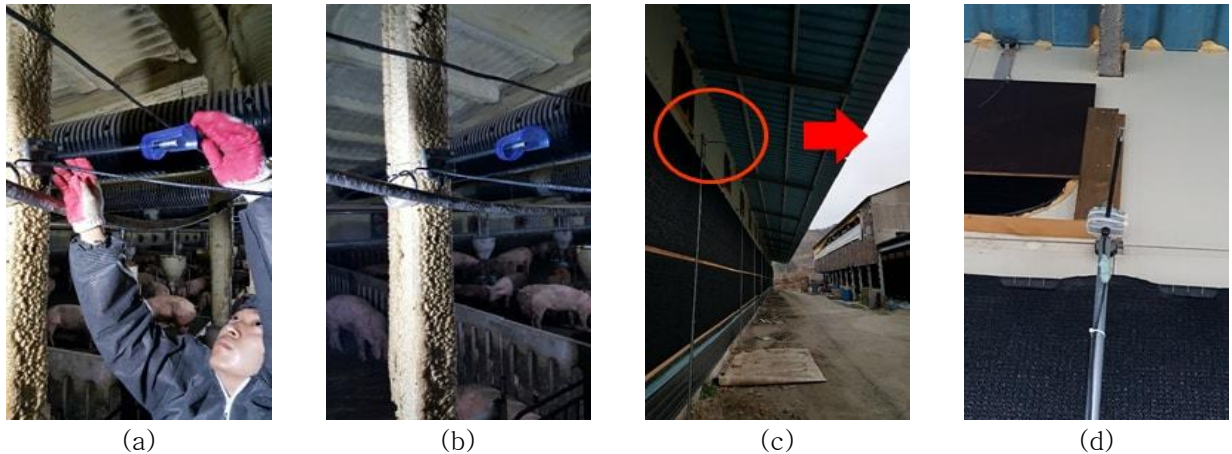


그림 2-5-5 온·습도 모니터링을 위한 센서 설치

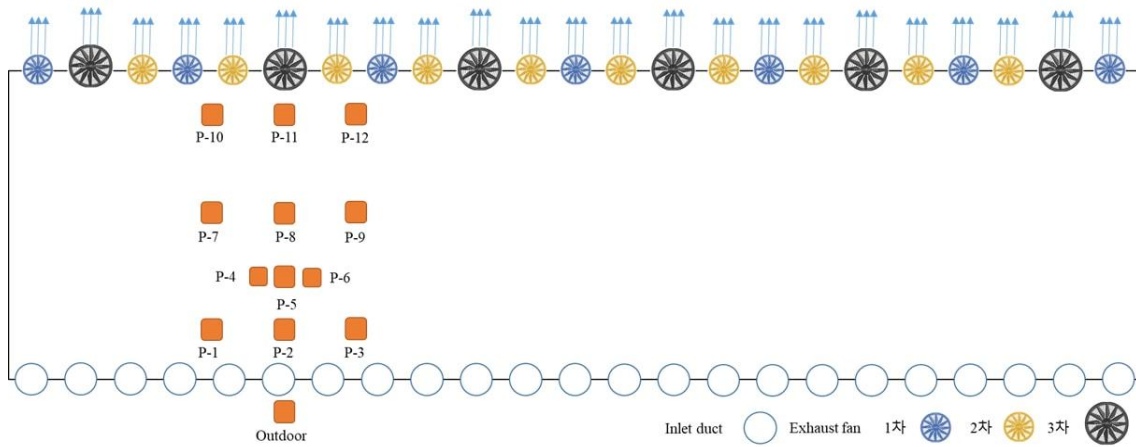


그림 2-5-6 비육돈사 내 온·습도센서 배치, 공조 및 냉난방을 위한 기기의 배치 현황

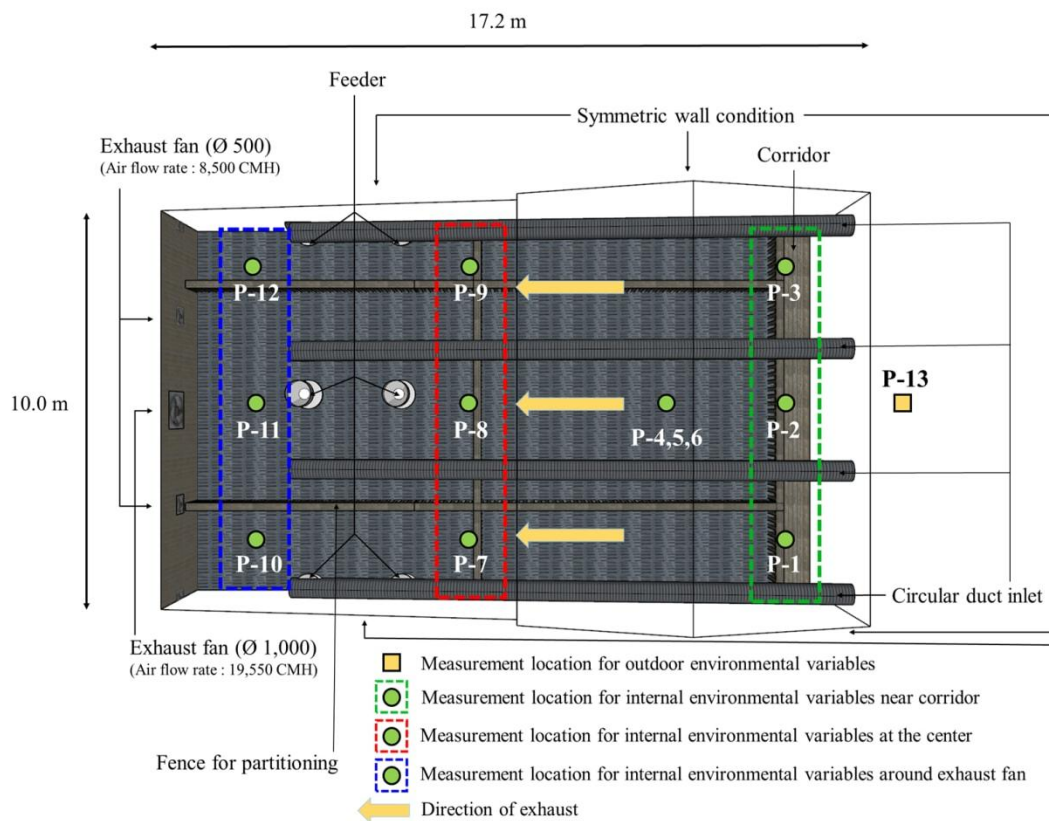


그림 2-5-7 하동 바른양돈 내 비육돈사의 온·습도 센서 설치 현황

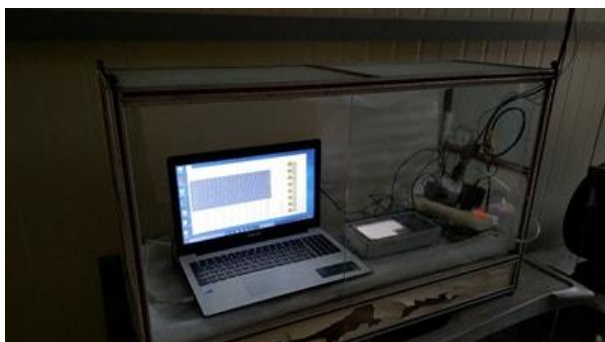


그림 2-5-8 비육돈사 미기상 분석을 위한 시스템 구성 및 분진으로 인한 센서 덕짐 현상

표 2-5-2 비육돈사 내부 적절한 사육환경 조성을 위하여 권장되는 환경 조건

Rearing environment		Recommended level	References
Air temperature (°C)		21	NIAS, 2016
Relative humidity (%)		50~80	NIAS, 2016
Feed intake (kg day ⁻¹)		2.3~3.4	National Pork Board (NPB), 2003
Water consumption (L day ⁻¹)		4.5~7.3	Quiniou et al., 2000 ¹⁴⁾
Gas (ppm)	NH ₃	< 25	NIOSH, 2016
	CO ₂	< 5,000	
Dust (μg m ⁻³)	Inhalable	< 2,500	Reynolds et al., 1996 ¹⁵⁾
	Respirable	< 230	

2.5.1.4 비육돈사 (홍성농장) 온도 모니터링

돈사 내부의 실시간으로 변화하는 온도 환경을 측정하기 위하여 열전대 (Thermocouple T-type)를 다채널 데이터 수집 장치에 연결하여 데이터를 저장하였고, 습도환경의 변화를 측정하기 위하여 온습도 센서(HOBO, Onset Co)를 사용하였다 (그림 2-5-9). 홍성돈사에는 길이별로 6지점, 폭별로 3지점, 높이별로 2지점 (1.2m, 2.4m)을 포함한 총 36개 측정점과 돈사 가운데에서 각각 북쪽과 남쪽의 지붕과 벽면에 총 4개, 총 40개의 측정점에 T-type 열전대를 설치하여 각 지점에서의 데이터를 수집하였다. 이들 센서들은 비육돈이 거주하는 돈방의 바닥에 가깝게 설치하는 것이 이상적이나, 비육돈에 의한 센서 파손 및 관리자의 작업 수행시에 유지관리를 위한 노동을 최소화하기 위하여 부득이 돈방의 칸막이 높이보다 약 0.1 ~ 0.2m 높은 약 1.0 ~ 1.1m 높이에 센서를 설치하였다. 설치한 열전대를 통하여 10분 간격으로 온도 데이터가 다채널 데이터 수집 장치 (DC-100, Yokogawa Inc. Japan)에 저장하였다 (그림 2-5-10). 온습도 센서(Hobo, Onset)는 길이별 폭별 각각 3지점씩 총 9개를 설치하였으며, 온·습도 센서와 열전대간의 상호 검증을 위하여 그림 2-5-11과 같이 12번 온습도 센서를 설치하였다. 외부의 기상대와는 별도로 상대적인 비교를 위하여 돈사 외부 직사광선의 영향을 직접적으로 받지 않는 위치에 또한 온습도 센서를 추가로 설치하였다. 다른 센서들에 비하여 많은 오차를 보인 4번과 5번 온습도 센서는 제외한 나머지를 사용하였다.



그림 2-5-9 홍성 실험돈사의 열전대와 데이터 수집 장치의 연결부

14) Quiniou, N., Dubois, S., & Noblet, J. (2000). Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science*, 263(3), 245-253.
 15) Reynolds, S. J., Donham, K. J., Whitten, P., Merchant, J. A., Burnmeister, L. F., & Pependorf, W. J. (1996). Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 29(1), 33-40.



그림 2-5-10 홍성 농장에 설치한 다채널 데이터 수집 장치 (DC100)

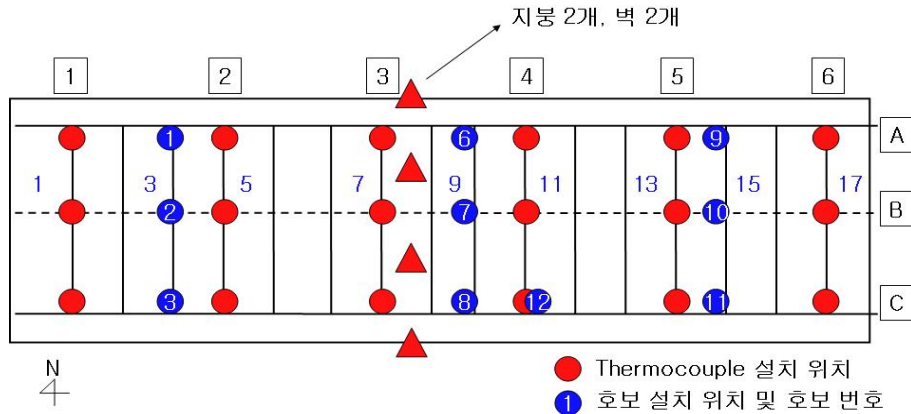


그림 2-5-11 홍성 실험돈사의 센서 설치 위치

2.5.2 가스 및 분진 측정

2.5.2.1 육계사 가스 및 분진 측정

육계사의 가스 및 분진 측정은 2017년 4월부터 2017년 8월까지 실시하였다. 가스 및 분진측정은 육계사 내 형성되는 가스 농도 적정성을 판단하고 (표 2-5-3), 적정 수준의 환경조절 및 온도, 습도, 환기량의 상관관계를 통한 지점별 가스, 분진 발생량 예측을 위하여 2017년 2월 14일부터 축사 내부에서의 주요 가스 (CO₂, NH₃) 및 분진을 측정하였다. 한 회전당 3회 (7일령, 18일령, 30일령) 정기적으로 수행되었으며 조류독감 발생에 따른 2017년 5월부터 2017년 7월까지는 사전적 예방조치 차원에서 실험을 일시 중단하였다. 가스 및 분진 측정은 육계의 크기를 고려하여 센서가 위치는 바닥면으로부터 0.5m에 설치하였으며 육계사 내 온·습도 센서 배치와 동일하게 가스 및 분진 측정기기를 위치시켰다.

현장실험은 대상시설의 매 사육기간의 6일령, 15일령, 29일령에 시행되었다. 장시간 가스 농도 측정의 경우 약 오전 10시 경에서 오후 5시까지 실험 전기간에 걸쳐 이루어졌고, 측정 지점은 온습도 센서 2, 5, 6, 9, 12번과 동일하다. 이 때, 가스 측정을 위한 MultiRAE IR 센서 중 4대를 장시간 지점 측정에 사용하였고, 나머지 1대는 Aerosol Spectrometer와 함께 3분 간격으로 온·습도 센서와 동일한 지점에서 이동하며 측정되었다. 측정된 데이터는 동일 시간에 측정된 데이터 간의 비교를 위하여 모든 위치별 측정 데이터를 1분 간격으로 평균을 산정하였다.

표 2-5-3 육계사 내부 적정 환경 조성을 위한 가스 및 분진 허용 농도 기준

Gas (ppm)	Carbon dioxide (CO ₂)	5,000	NIOSH, 2016
	Ammonia (NH ₃)	25	
Dust (µg m ⁻³)	Inhalable	2,400	Dunham et al., 1986
	Respirable	160	

2.5.2.2 비육돈사 가스 및 분진 측정

비육돈사 내 형성되는 가스 및 분진 농도에 대한 적정 수준의 환경조절 (표 2-5-4) 및 온도, 습도, 환기량의 상관관계를 통한 지점별 가스, 분진 농도 예측을 위하여 2017년 2월 14일부터 축사 내부에서의 주요 가스 (CO₂, NH₃) 및 분진을 측정하였다. 가스 및 분진 측정은 한 달에 1 ~ 2회 정기적으로 수행되었으며 구제역 독감 발생에 따른 11월부터 3월까지의 사전적 예방조치 차원에서 실험을 일시 중단하였다. 가스 및 분진 측정은 비육돈의 크기 및 작업자의 높이를 고려하여 센서가 위치는 바닥면으로부터 1.5m에 설치하였으며 온·습도 센서 배치와 동일한 위치에서 가스 및 분진 측정하였다. 이 때, 가스 측정 센서 중 3대를 장시간 지점 측정에 그림 2-5-12와 같은 지점에 설치되었고, 나머지 1대는 휴대용 분진 측정기와 함께 3분 간격으로 온습도 센서와 동일한 지점에서 이동하며 측정되었다. 측정된 데이터는 동일 시간에 측정된 데이터간의 비교를 위하여 모든 위치별 측정 데이터를 1분 간격으로 평균을 산정하였다.

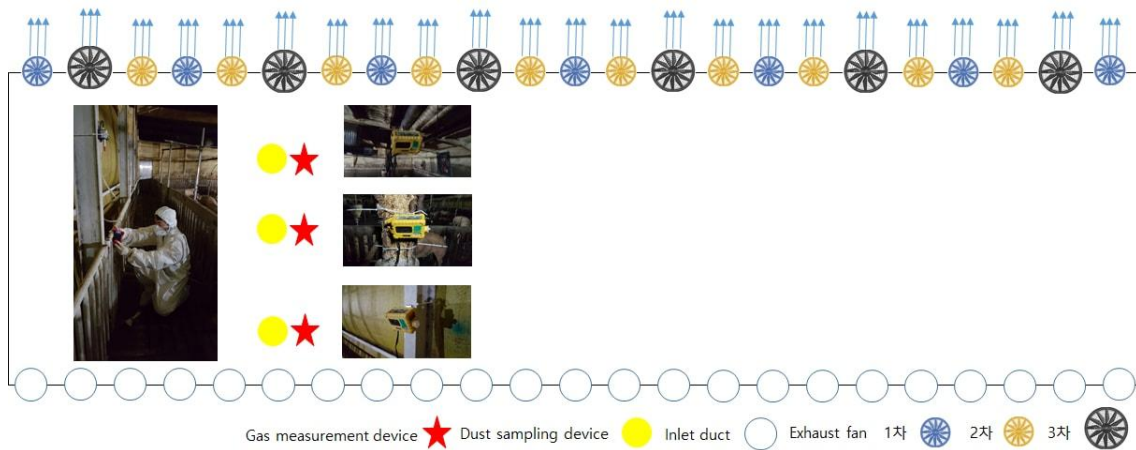


그림 2-5-12 비육돈사 내 가스 및 분진 측정을 위한 센서 및 포집 장치 배치

표 2-5-4 비육돈사 내부 적정 환경 조성을 위한 가스 및 분진 허용 농도 기준

Gas (ppm)	Carbon dioxide (CO ₂)	< 5,000	NIOSH, 2016
	Ammonia (NH ₃)	< 20	
Dust (µg m ⁻³)	Inhalable	< 2,500	Dunham et al., 2000
	Respirable	< 230	

2.5.3 배기팬의 환기량 측정

2.5.3.1 육계사 배기팬의 환기량 측정

육계사 (이레농장)에 설치되어있는 터널배기팬 및 측벽배기팬의 실제환기량을 측정하기 위하여 자체 제작한 풍량계 (Aero-flow meter) 및 미압측정기 (TSI Inc., USA)를 사용하였다 (그림 2-5-13). 본 연구에서는 동절기 대비를 위한 터널배기팬의 단열조치 (그림 2-2-2) 등의 부득이한 상황을 고려하여 동절기의 최소환기를 위하여 이용되는 크로스배기팬에 대한 분석을 실시하고자 하였다. 특히, 크로스배기팬의 경우 가동되는 팬의 개수에 따라 발생하는 압력 강하 정도를 측정하기 위해 가동되는 팬을 1대에서 3대까지 (CF-1 ~ CF-3) 순차적으로 증가시켜가며 고정팬에서의 풍량값을 측정하여 그 추세를 분석하였다. 크로스배기팬에서 외부로 배출되는 풍량 측정을 위하여 풍량계를 배기팬 외부에 위치시킨 후 환기시스템의 작동에 따라 1분간 측정되는 풍량값을 기록하여 이에 대한 평균치를 계산하여 해당조건에서의 풍량값을 산정하는 방식으로 3회 반복 실험을 수행하였다. 추가적으로, 배기팬의 환기량 측정에 있어서 풍량계를 설치하기 어려운 위치의 배기팬은 열선풍속계 (TESTO Inc., USA)를 이용하여 배기되는 풍속을 통하여 풍량을 계산하고자 하였다.



그림 2-5-13 측벽 크로스배기팬의 풍량 실험을 위한 기기 및 현장 실험

그러나, 해당 육계사의 경우에는 그림 2-5-14와 같이 제어시스템과 크로스배기팬의 제어 연결 (릴레이)이 1대1 또는 1대2로 구성되어 있기 때문에 분석 케이스의 확장에서는 다소 한계가 있었다. 따라서 1대1 제어가 이루어지는 CF-1 크로스배기팬 1대가 가동 될 때, CF-2와 CF-3가 2대 가동 될 때, CF-1 ~ CF-3의 크로스배기팬 모두가 가동될 때의 3조건에 대해서 측정하였다.

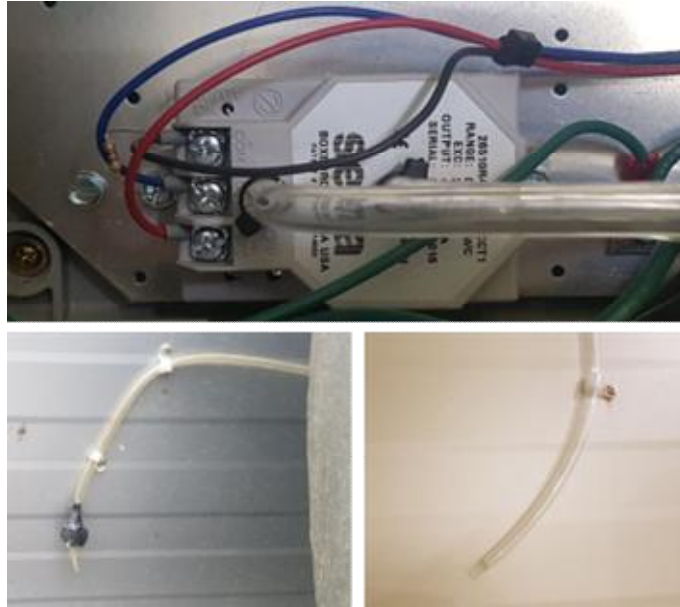


그림 2-5-15 시설 내외 정압차 측정 센서

표 2-5-5 시설 내외 정압차 측정 센서 (Setra model 265) 제원

측정 범위	0~99.6 Pa (0~0.4 inches of water)
정확도	2.49 Pa (0.01 inches of water)
감도	±1.0%
가동 환경	온도 -18~65°C



그림 2-5-16 대선 농장의 입기슬롯 개방 조건



그림 2-5-17 대선 농장의 터널배기팬 가동 조건

표 2-5-6 대선 농장의 슬롯개방 정도와 터널배기팬 가동 대수에 따른 환기량 실험 조건

슬롯 개방 높이 (개방률)	터널배기팬 가동 대수
0.32 m (100%)	1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14
0.2 m (63%)	1, 2, 4, 6, 8, 10, 12
0.15 m (47%)	1, 2, 4, 6, 8
0.1 m (31%)	1, 2, 4, 6
0.05 m (16%)	1, 2, 4

또한, 터널배기팬 성능에 대한 방풍벽의 영향을 평가하기 위하여 방풍벽이 제거된 상태와 설치된 상태에서 각각 실험을 수행하였다 (그림 2-5-18). 각 실험 조건에 대하여 5분간의 기류 안정화를 거친 후 정압력 측정치의 변동이 없을 때 배기팬의 풍량 측정을 실시하였다. 배기팬의 풍량은 풍량계의 1분 평균 동압력을 3반복 측정 후 동압력과 공기 밀도를 통하여 환산하였다. 정압력 측정치와 배기팬의 기류에 대한 간섭을 방지하기 위하여 외부 유속이 강할 때에는 측정을 실시하지 않았다. 터널배기팬을 통과하는 풍량을 산정하는 과정에서 필요한 공기의 밀도를 산정하기 위해 실험이 진행되는 동안 공기의 온도, 습도 및 대기압을 모니터링 하였다.



(a) 방풍벽 제거 조건



(b) 방풍벽 설치 조건

그림 2-5-18 방풍벽 설치 유무에 따른 실험 조건

2.5.3.2 비육돈사 환기량 측정

비육돈사에서 적용되는 배기팬이 가변식이라는 점을 고려하여 설정되는 환기량에 따른 배기팬의 토출

풍량을 측정하고자 하였다. 그러나 그림 2-2-10(b)와 같이 바이오커튼 내부의 설치 높이 및 연약지반 조건 그리고 설치된 바이오커튼으로 인하여 풍량을 측정하기 위한 충분한 관유동이 형성이 되지 않는 점을 고려하여 휴대용 열선풍속계 (TESTO Inc., USA; 그림 2-5-19)를 이용하여 식 (2)와 같이 배기되는 풍속값을 측정된 후 압력값으로 환산하였다. 풍속값의 측정은 환기시스템의 작동에 따라 1분간 측정되는 값을 기록하여 이에 대한 평균치를 계산하여 해당 조건에서의 풍속값을 산정하는 방식으로 3회 반복 실험을 수행하였다. 이로부터 1차 배기팬만 이용하여 환기시, 1차 배기팬과 2차 배기팬을 동시에 이용할 경우의 배기 용량별 압력 변화량을 통하여 부하를 예측하고자 하였다. 또한 바이오커튼을 설치하였을 때와 설치하지 않았을 때의 경우에도 동일하게 분석하고자 하였다.



휴대용 열선풍속계
(TESTO Inc., USA)



비육돈사 내 배기 풍속 측정 실험

그림 2-5-19 배기팬의 풍속 실험을 위한 기기 및 현장 실험

2.6.1 CFD 시뮬레이션 설계 및 검증

2.6.1.1 육계사 CFD 시뮬레이션 모델 설계 및 검증

대상 육계사의 공기역학적 분석을 위한 CFD 모델을 설계하고자하였다. 모델의 기본적 규격은 대상시설의 실측치와 도면을 참고하여 이레농장 모델 (폭 14.1m, 길이 60.0m, 측고 3.0m, 동고 5.0m)을 설계하였다. 모델의 배기구는 측벽에 위치한 3대의 크로스배기팬과 끝벽에 위치한 10대의 터널배기팬을 설계하였다. 쿨링패드의 경우 실측치를 참고하여 바닥으로부터 높이 0.6m 위치에 높이 1.1m, 길이 24.0m의 크기로 설계하였다. 입기슬롯의 경우 외부 기상과 생육 조건에 따라 작업자가 개방 정도를 조절하며, 이에 따라 계절별로 입기구의 크기와 각도를 실측하여 모델에 적용하였다 (그림 2-6-1). 입기구에서 유입되는 공기의 온도 및 수증기 밀도는 대상시설 외부에 설치된 온·습도 센서를 통한 해당 시기의 실측치를 적용하였다. 모든 CFD 시뮬레이션 모델 설계는 연산의 효율성과 높은 품질의 격자망 생성을 위하여 모델의 정확도를 저해하지 않는 범위 내에서 내부 구조를 생략 및 단순화 하였으며 (그림 2-6-2(b)), 순환팬과 온풍기는 정방향의 형태로 설계하였다. 또한 성장이 더딘 육계를 구분하기 위한 목적으로 설치된 스크린의 경우 현재 더 이상 사용하지 않기 때문에 입기슬롯을 통해 유입된 공기의 흐름에 영향을 미칠 것으로 판단하여 CFD 모델에 포함하였다 (그림 2-6-2(c)).

연산도메인 내 모델의 격자망은 Tetra와 Pyramid, Hex 격자를 통해 생성하였다. 모델의 정확성을 위하여 격자의 최대 크기는 0.3m 이하로 제한하였으며, 각 입기슬롯에 약 140개의 격자가 포함되도록 설정하였다. 총 격자의 개수는 248만개, skewness는 최대 0.942로 나타나 연산 효율과 격자망의 질에 있어서 모두 문제가 없는 것으로 판단되었다. 대상 모델의 유입구에 해당하는 입기슬롯은 길이 0.6m, 높이는 최소 0.05m에서 최대 0.20m로 전체 모델에 비하여 비교적 작은 크기를 가지고 있다. 입기슬롯을 통해 유입되는 유동의 정확한 모의를 위하여 입기슬롯 단면에는 최소 3×5개의 격자가 포함되도록 설계하였다.

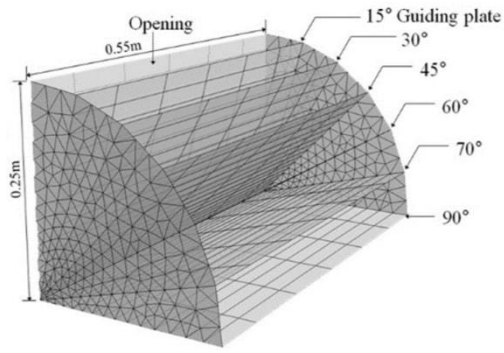
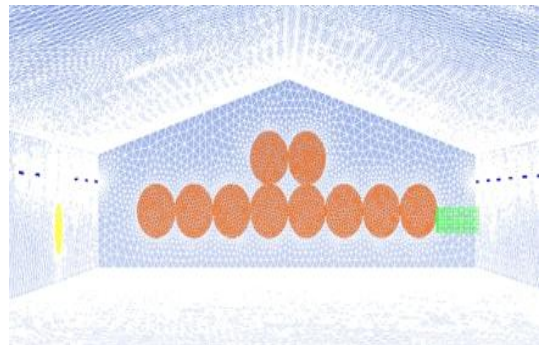


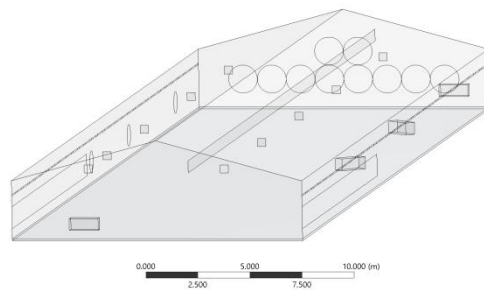
그림 2-6-1 육계사 내 입기슬롯의 형상과 입기슬롯의 개방 정도 정의



(a) 부여 이레농장 내 실험대상 육계사 구조



(b) 대상 육계사의 CFD model 설계 및 격자망 구성



(c) 대상시설 (이레농장)의 CFD모델 형상

그림 2-6-2 부여 이레농장 내 실험 육계사 구조 및 CFD 시뮬레이션 모델 설계와 격자망 구성

배기팬의 경계조건은 exhaust fan으로 설정하였다. 팬 성능 곡선을 고려하여 배기팬에서의 실제적인 유량을 모의하고자 하였으며, 크로스배기팬과 터널배기팬의 팬 성능 곡선은 제조사에서 제공하는 자료를 이용하였다. CFD 시뮬레이션에 입력하기 위하여 팬 성능 곡선을 정압차와 유속 간의 관계식으로 변환한 결과는 다음 식 (6)와 같다.

$$\Delta P = 57.215 + 8.9495v - 3.7685v^2 \quad \text{식 (6)}$$

여기서, ΔP 는 배기팬의 유입구와 배기구 간의 정압력 차이 (Pa), Q 는 배기팬 단면의 유속 (m/s)이다. 모델의 입기구는 쿨링패드와 입기슬롯에 해당한다.

입기구에서 유입되는 공기의 온도 및 수증기 밀도는 대상시설 외부에 설치된 온·습도 센서를 통한 해당 시기의 실측치를 적용하였다. 육계에서 발생하는 현열과 수증기량은 Pedersen & Sällvik (2002)¹⁶⁾이 제시한 육계의 현열과 잠열량을 반영하였으며 (식 (7)~식 (10)), 필요한 육계의 중량은 육계 중량 변화 곡선을 적용하였다 (그림 2-6-3). 육계사 내부의 온도가 20°C일 때, 육계 한 마리의 총열 발생량은 육계 한 마리의 질량이 포함된 함수로 이루어진 식을 통하여 산정하였다 (식 10). 또한 육계사 내부의 온도 T_i 일 때 총열 발생량은 다음 식 (8)와 같다. 모델의 바닥 부분에 일정 높이의 공간을 육계 영역으로 설정하였으며, 해당 구역에서 일령에 따른 현열과 수증기 발생량을 설정하였다. 육계의 일령에 따른 생체중과 적정 생육 온도를 통해 산정한 열 발생량의 산정 결과는 다음 그림 2-6-3와 같으며, 그 외 CFD 시뮬레이션 연산을 위하여 설정된 변수에 대한 설정 조건은 표 2-6-1와 같다.

$$\phi_{tot, 20} = 10.62m^{0.75} \quad \text{식 (7)}$$

$$\phi_{tot} = 10.62m^{0.75} \times \left(1 + \frac{20 - T_i}{50}\right) \quad \text{식 (8)}$$

$$\phi_s = \frac{\phi_{tot}}{1000} [0.61 \times \{1000 + 20(20 - t)\} - 0.228t^2] \quad \text{식 (9)}$$

$$\phi_l = \phi_{tot} - \phi_s \quad \text{식 (10)}$$

여기서, ϕ_{tot} 은 전체 열 발생량 (W), ϕ_s 은 현열 발생량 (W), ϕ_l 은 잠열 발생량 (W), m 은 육계의 생체중 (kg), t 는 시설 내부 온도 (°C)이다.

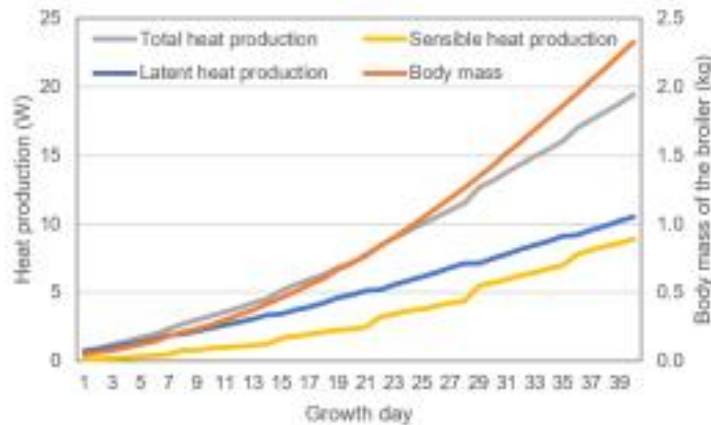


그림 2-6-3 일령별 육계의 생체중 및 열 발생량

표 2-6-1 CFD 시뮬레이션 모델을 위한 경계 조건

16) Pedersen, S., & Sällvik, K. (2002). Heat and moisture production at animal and house levels. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. CIGR. Horsens.

Boundary conditions of CFD model	Content		Input values
	Density of air		1.225 kg·m ⁻³
Wall temperature (°C)	Roof	23.6	
	Side	11.6	
	Front and back	10.2	
Outside temperature (°C)		-7.8	
Internal initial temperature (°C)		22.5	
Surface temperature of walls		Values measured in Nov, 2016	
Maximum cell size		Selected from grid independence test (0.1, 0.3, 0.5, 0.7 and 1.0 m)	
Turbulence model		Selected from validation test (Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$, SST $k-\omega$, Standard $k-\omega$)	

또한, 대선폰장의 경우 현장 팬 성능 곡선과 시설 내부의 정압력 분포를 분석하기 위하여 CFD 모델을 설계하였다. 모델의 크기는 설계도 및 실측치를 참고하여 길이 123.0m, 폭 15.0m, 측고 3.5m, 동고 5.5m로 설계하였다. 배기구는 끝벽에 위치한 14개의 터널배기팬 (Euroemme EM50 Exhaust fan; Munters)이며, 유입구는 각 측벽에 41개씩 위치한 입기슬롯 (길이 1.13m, 최대 높이 0.34m)이다. 터널 배기팬은 대상시설과 동일한 위치에 직경 1.4m의 원형 단면의 형태로 설계하였다 (그림 2-6-4). 입기슬롯의 경우 실측치를 참고하여 길이 1.13m의 입기슬롯을 각 측벽에 41개씩 배치하였다. 입기슬롯의 개방 높이는 현장실험 조건과 동일하게 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.34m 조건의 모델을 각각 설계하였다. 시설 내부로 유입되는 공기역학적 특성에 대한 정확한 모의를 위하여 각 입기슬롯에는 15개 이상의 격자가 포함되도록 설계하였다. 시뮬레이션 연산의 효율성 향상을 위하여 내부의 복잡한 구조는 생략 및 단순화하여 적용하였다 (그림 2-6-4). 모델의 격자망은 tetra와 pyramid, hex 형태의 격자를 통해 설계하였으며, 입기슬롯의 개방면적에 따라 217만 ~ 468만 개의 격자로 연산도메인을 구성하였다.

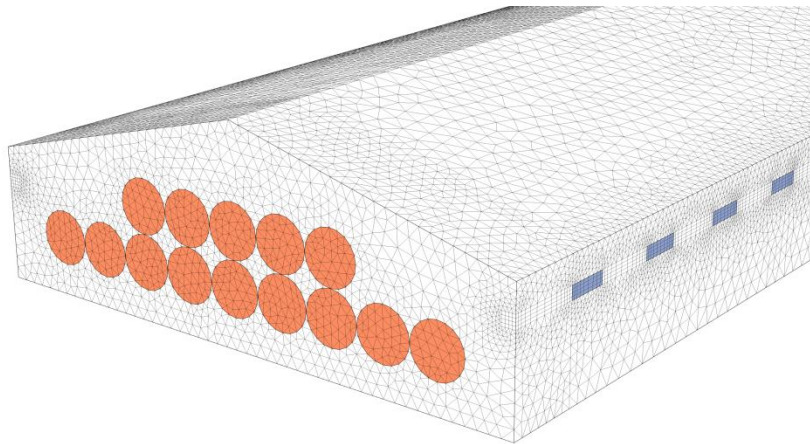


그림 2-6-4 대선폰장을 대상으로 설계된 CFD 시뮬레이션 모델의 격자망

난류모델의 경우 축산분야에 CFD를 적용한 선행연구를 참고하여 SST k- ω 모델을 적용하였다 (Shen et al., 2012¹⁷); Li et al., 2016¹⁸). 모델의 입기구에 해당하는 입기슬롯의 경계조건은 시설 내·외부 정압차를 모의하기 위하여 inlet-vent로 설정하였다. 일반적으로 강제환기식 축산시설의 모델링에 적용된 pressure-inlet 조건과 달리 inlet-vent 조건은 모델 외부와 내부의 정압력 차이를 다음의 식 (11)을 통하여 모의하였다.

$$\Delta P = k_L \frac{\rho}{2} v^2 \quad \text{식 (11)}$$

여기서, ΔP 는 모델 내외부의 정압력차 (Pa), k_L 은 손실계수 (loss coefficient, dimensionless), ρ 는 공기 밀도 (kg m^{-3}), v 는 유속 (m s^{-1})이다.

시설 내부로 유입되는 기류의 유량과 압력차 간 관계를 나타내는 오리피스 공식을 변형하여 동일한 형태의 공식을 도출할 수 있다 (식 (12), 식 (13)). 이를 통하여 inlet-vent에 입력하는 손실계수와 유출계수간 관계식을 도출된다 (식 (14)). 따라서 현장실험을 통해 측정한 입기 면적별 유출계수를 통해 환산한 손실계수를 CFD 모델의 입기구에 적용하였다. 모델의 outlet에 해당하는 배기팬은 CFD 시뮬레이션에서 제공하는 fan 경계 조건을 사용하였으며, 대상 배기팬의 제조사에서 제공하는 설계 팬 성능 곡선을 입력하였다 (그림 2-6-5).

$$Q = C_D A \sqrt{2 \times \Delta P / \rho} \quad \text{식 (12)}$$

$$\Delta P = \frac{1}{C_D^2} \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 = \frac{1}{C_D^2} \frac{\rho}{2} v^2 = k_L \frac{\rho}{2} v^2 \quad \text{식 (13)}$$

$$k_L = 1 / C_D^2 \quad \text{식 (14)}$$

여기서, Q 는 입기슬롯을 통과하는 유량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), A 는 입기슬롯의 개방면적 (m^2)이다.

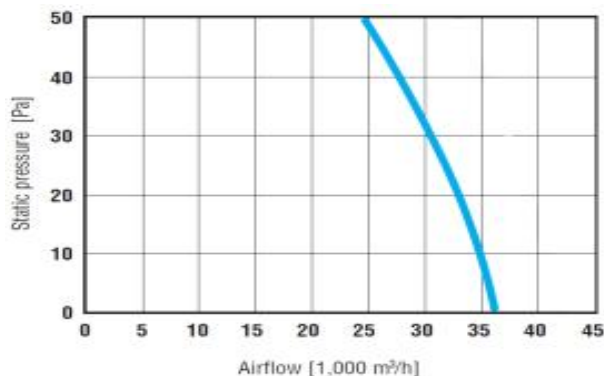


그림 2-6-5 대상농장에 설치된 배기팬의 설계 팬 성능 곡선

- 17) Shen, X., Zhang, G., & Bjerg, B. (2012). Comparison of different methods for estimating ventilation rates through wind driven ventilated buildings. *Energy and Buildings*, 54, 297-306.
- 18) Li, H., Rong, L., & Zhang, G. (2016). Study on convective heat transfer from pig models by CFD in a virtual wind tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 203-210.

Liu & Liu (2012)를 참고하여 설계 팬 커브를 2차 다항식 형태로 근사하여 적용하였다. 본 연구에서 사용한 CFD 시뮬레이션 프로그램에서 팬 성능 곡선은 정압과 유속간 관계식으로 적용하였다. 직경 1.4m인 대상 터널배기팬의 면적을 고려하여 환산한 공식은 다음 식 (15)과 같다. 실험 대상 배기팬의 설계 팬 성능 곡선은 정압차 0 ~ 50 Pa, 유량 약 25,000 CMH 이상의 범위만 제공하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 유량 25,000 CMH 이상의 시설 운영 조건에 대해서만 전산유체역학 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 조건은 현장실험의 터널배기팬 가동 대수와 입기슬롯 개방면적 조건과 동일하다. 시뮬레이션의 결과로서 현장실험과 동일한 위치의 유량 (중앙 하단의 터널배기팬)과 시설 내·외 정압력 차 (제어실 인근)를 분석에 활용하였다. CFD 모델의 검증은 실측한 유량과의 비교를 통하여 수행하였으며, 통계적인 분석을 위하여 ANOVA 분석을 실시하였다. ANOVA 분석은 팬 성능 곡선과 동일한 형태로 종속변수는 정압력 차이 (ΔP), 독립 변수는 유량과 유량의 제곱 (Q, Q^2)으로 설정하였으며, 추가적으로 데이터 획득 방법 (현장 실험 또는 CFD)을 나타내는 Method 변수를 추가하였다. Method 변수의 p-value를 통하여 유량의 실측치와 CFD를 통한 모의치 간의 유의한 차이가 존재하는지 여부를 검정하였다.

$$\Delta P = -7.668 + 36.619v - 5.419v^2 \quad \text{식 (15)}$$

여기서, ΔP 는 팬의 흡입구와 배출구의 정압력 편차 (Pa), v 는 팬을 통과하는 기류의 유속 ($m\ s^{-1}$)이다.

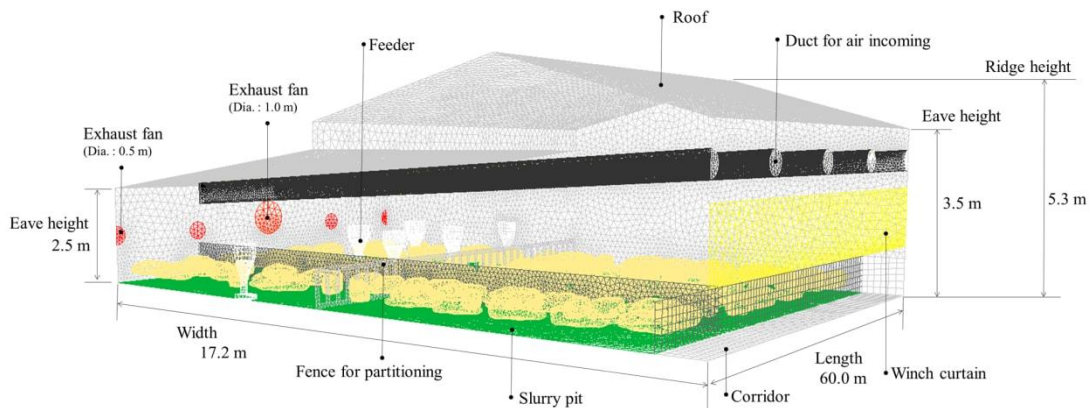
강제환기식 옥계사의 구조 변화 따른 내부 환경의 차이를 분석하기 위하여 대상시설과 구조가 다른 3개의 모델을 추가로 제작하였다. 2016년 축사표준설계도 중에 옥계사의 표준 규격은 폭 14.0m, 측고 3.3m, 동고 5.6m로 실험 대상시설과 유사한 수준이다 (각 15, 3.5, 5.5m). 반면 길이의 경우 최대 길이를 114.3m로 제시하고 있으며, 개별 농가에서 가변적으로 길이를 조절하여 설계할 수 있다. 이를 참고하여 대상시설의 길이 (123.0m)보다 짧은 60, 80, 100m 길이의 옥계사 모델을 설계하였다. 길이 이외 폭과 높이는 대상 농가와 동일하며, 터널배기팬 역시 동일하게 설계하였다. 대상시설 입기슬롯의 완전 개방면적 ($0.34m \times 1.13m$) 및 간격과 동일하게 설계하였으며, 개수는 모델의 길이에 따라 조절하였다. 본 모델과 동일한 방식으로 추가 모델의 터널배기팬 가동 대수(2, 4, 6, 8, 10, 12, 14)를 변화시켜가며 현장 팬 성능 곡선을 평가하였다. 공분산분석을 통하여 모델 변화에 따른 현장 팬 성능 곡선의 변화 여부를 검정하였다.

2.6.1.2 비육돈사 CFD 시뮬레이션 모델 설계 및 검증

비육돈사 내부의 환기 및 온·습도 분포 등을 분석하기 위하여 3차원 CFD 시뮬레이션의 설계 및 검증을 수행하였다. CFD 시뮬레이션 모델의 폭은 17.2m, 길이 10.0m, 가장 높은 동고 5.3m, 입기측 측고 4.3m, 배기측 측고 2.5m로 실제 하동군 바른양돈 비육돈사의 치수를 현장에서 측정한 값과 동일하게 설계하였다. 그림 2-6-6(a)와 같이 돼지를 배치하였으며 현장실험시 촬영한 사진을 바탕으로 하여 급수기와 급이기가 있는 곳에 돼지를 많이 배치하였으며, 총 160마리의 돼지를 돈사에 배치하였다. 이 때, 환기에 미치는 영향이 적은 요소에 대해서는 다소 단순화시켜 CFD 모델의 구조를 설계하였다 (그림 2-6-6(b)). 격자는 Tetra/hybrid 격자를 사용하였으며, 사용된 전체 격자수는 약 500만개로 구성하였다 (그림 2-6-6(b)).



(a) 하동 바른양돈 내 실험대상 비육돈사 구조



(b) 대상 비육돈사의 CFD model 설계 및 격자망 구성

그림 2-6-6 대상 비육돈사 구조 및 CFD 시뮬레이션 모델 설계와 격자망 구성

비육돈사의 경우 환기 구조 (입기구와 배기구의 방향)가 대칭적으로 이루어지기 때문에 전 돈사를 시뮬레이션 모델 도메인으로 할당하지 않고 일부 구간만을 설계하였으며, 양쪽 측벽은 Symetric으로 설정하였다. 기존의 대부분의 CFD 시뮬레이션은 돈사 내에 돼지가 없는 것을 가정하거나 바닥에 가득 있는 것으로 가정하였다. 그러나 이 경우 실제 돼지에 의하여 발생하는 유동장의 변화나 체열 및 수분의 발생에 의한 영향 등을 효과적으로 나타내지 못하기 때문에 Seo et al. (2012)의 CFD 모델에 돼지를 사실적으로 구현함으로써 이전의 연구에 비하여 더 현실적인 시뮬레이션 결과를 얻는 것이 가능해졌다. 그림 2-6-7과 같이 돼지의 다리, 귀, 코, 꼬리 등을 섬세하게 묘사할 경우 돼지 모델 자체만으로도 많은 면 (Surface) 정보를 가지기 때문에 제한된 영역에 지나치게 많은 격자수를 필요로 하게 된다. 따라서 지나치게 상세하게 돼지를 표현할 경우 격자의 질 (Quality)가 좋지 않고 메모리 요구량이 많아지기 때문에 계산 소요시간이 매우 증가하고, 때로는 보유하고 있는 컴퓨터 메모리로 계산이 불가능할 수도 있다. 이와 같이 돼지 모델을 상세하게 모델을 설계한다고 하여 전체 도메인의 크기를 고려하여 각 돼지의 크기는 큰 비중을 차지하지 않기 때문에 전체 도메인의 계산의 정확도가 획기적으로 증가하는 것은 아니기 때문에 경제적이지 못하다. 따라서 3차원 비육돈사의 CFD 시뮬레이션에 필요한 정확도를 유지하면서 효율적인 격자망 설계를 위하여 3차원 돼지 모델의 간략화 과정을 수행하였다.



그림 2-6-7 3차원 돼지 모델의 간략화 과정 (Seo et al., 2012)¹⁹⁾

실험 비육돈사는 지붕에 설치된 덕트를 통하여 배기가 이루어지고 이를 통하여 돈사 내부에 형성되는 음압에 의하여 외부의 신선한 공기가 북쪽 측벽에 설치되어 있는 입기구로 들어오는 구조를 사용하고 있다. 대상 돈사시설의 고려하였을 때 입기덕트의 구멍 크기 (0.05m)는 매우 작고 덕트 구멍에 최소한 6개의 격자가 형성되게 격자망을 구성하기 위하여 0.01m 격자 크기가 덕트 구멍 단면에 설계되도록 하였다. 또한 비육돈의 돼지를 형상화하면서 격자의 왜도가 커질 가능성이 큰 돈군 영역에서도 0.01m의 격자망을 구성하였다. 연산도메인 내 격자수가 많아질수록 연산시간이 기하급수적으로 증가하기 때문에 합리적인 연산 시간을 고려하기 위하여 격자의 성장비 (Growth ratio)를 1.1로 설정하였으며, ANSYS user's guide에서 언급하고 있는 1.2의 격자 성장 속도를 초과하지 않도록 설정하였다²⁰⁾.

Workbench를 통하여 설계한 격자망 모델은 Fluent를 사용하여 초기 경계값과 환경조건, 난류 방정식 등을 적용하는 시뮬레이션 연산이 이루어진다. 먼저 시뮬레이션 설계 시 다음의 가정들을 통하여 모델을 단순화하였다. 1) 공기는 비압축성 이상기체로 가정한다. 2) 환경 조건은 현장실험을 통하여 측정된 값과 참고 문헌을 통한 이론적인 값을 사용한다. 3) 가스나 입자 등의 화학적인 반응에 의한 생성이나 응집 등은 없는 것으로 가정한다. CFD 시뮬레이션은 가장 일반적으로 유동 분석에서 적용되고 있는 Pressure-based solver를 적용하였으며, 중력 가속도는 9.81 m s^{-1} , 대기압은 101,325 Pa를 적용하였다. CFD 설계된 비육돈사의 벽체 특성은 현장 실험을 통하여 측정된 데이터를 기반으로 적용되었으며, 돼지는 항온성 동물의 생리적 특성을 반영하여 표면 온도를 38°C 로 유지되도록 하였다. 대상 비육돈사의 경우에는 바닥의 피트가 콘크리트로 이루어져 있으며, 콘크리트 피트의 경우에는 자돈사에 적용되는 플라스틱 피트와 비교하여 매우 작은 공극률을 갖기 때문에 본 연구에서는 별도로 설계하지 않았다. 대신 슬러리 피트에서 발생하는 열과 수증기에 대한 고려는 식 (16) ~ 식 (21)를 통하여 CFD 모델에 고려하고자 하였다. 돈사 내부에서 돼지의 호흡, 분변, 음수를 통하여 발생하는 수증기 발생량을 다음 식 (19)로 산정할 수 있으며, 이는 Stinn and Xin (2014)²¹⁾의 연구를 통하여 분변 또는 음수량과 호흡을 통하여 발생하는 양으로 구분할 수 있으며, 각각의 발생량이 CFD 모델에 고려되었다. 초기 CFD 시뮬레이션을 위한 경계 조건은 표 2-6-2와 같으며 수치해의 수렴은 Continuity의 경우 1×10^{-6} 그 외 Energy, X, Y, Z-velocity, k, ϵ (epsilon)의 경우에는 1×10^{-3} 에 수렴되도록 설정하였다. 사용된 전체 격자수는 약 500만개로써 하나의 PC를 사용하여 시뮬레이션 연산을 수행하기에는 다소 격자의 수가 많은 것으로 판단되었다. 따라서 크기가 큰 CFD 시뮬레이션 모델의 연산을 위하여 여러 대의 컴퓨터를 연결하여 사용하는 Parallel Processing 기법을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

$$\text{Total MP} = \rho \times Q (W_i - W_e) \quad \text{식 (16)}$$

$$\text{MP of the finishing pig} = \text{LHP} / \text{LH}_e \quad \text{식 (17)}$$

$$\text{LHP} = \text{THP} - \text{SHP} \quad \text{식 (18)}$$

19) Seo, I. H., Lee, I. B., Moon, O. K., Hong, S. W., Hwang, H. S., Bitog, J. P., ... & Lee, J. W. (2012). Modelling of internal environmental conditions in a full-scale commercial pig house containing animals. *Biosystems Engineering*, 111(1), 91-106.

20) ANSYS. (2013). ANSYS Fluent Theory Guide, 15317(November), 724?746. [https://doi.org/10.1016/0140-3664\(87\)90311-2](https://doi.org/10.1016/0140-3664(87)90311-2)

21) Stinn, J. P., & Xin, H. (2014). Heat and moisture production rates of a modern US swine breeding, gestation, and farrowing facility. *Transactions of the ASABE*, 57(5), 1517-1528.

$$THP = 0.001 \times (5.09 \times m^{0.75} + (1 - (0.47 + 0.003 \times m))) \times (n \times 5.09 \times m^{0.75} - 5.096 \times m^{0.75}) \times (1000 + 12 \times (20 - T)) \quad \text{식 (19)}$$

$$SHP = 0.001 \times (5.09 \times m^{0.75} + (1 - (0.47 + 0.003 \times m))) \times (n \times 5.09 \times m^{0.75} - 5.096 \times m^{0.75}) \times (0.62 \times (1000 + 12 \times (20 - T))) \quad \text{식 (20)}$$

$$W = \text{mass of water vapor} / \text{mass of dry air} \quad \text{식 (21)}$$

여기서, MP is the moisture production rate (kg s^{-1}), W_i and W_e are the humidity ratios of the internal and external air (kg kg (DA)^{-1}) respectively, Q is the ventilation rate at the exhaust fan ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), ρ is the air density (kg m^{-3}), LHP is the latent animal heat production (W), LHe is the latent heat of evaporation ($\text{J kg}^{-1} \text{head}^{-1}$), SHP is sensible heat production (W), W is body weight (kg), n is feed intake efficiency.

본 연구에서는 비육돈사 내부의 격자 크기에 따른 결과의 정확도를 판별하기 위하여 격자 독립성 시험을 실시하였다. 비육돈사 내부의 입기덕트의 구멍은 비육돈사 크기를 고려하였을 때 매우 작기 때문에 입기덕트 내부의 격자는 덕트의 구멍을 고려하여 0.01m로 설계하였으며 돈군의 경우에도 좁은 영역에 다수의 돼지가 존재하기 때문에 돈군에서의 격자망의 질을 개선하기 위하여 입기덕트의 격자 크기와 동일한 0.01m로 고정하였다. 그 외 공간에 대해서는 연산결과의 정확도 및 정밀도를 높이면서 가장 경제적인 격자 크기를 선정하기 위하여 격자 독립성 검증을 수행하였다. 격자 독립성 검증을 위하여 비육돈사 내부의 격자 크기에 따라 총 4가지 조건으로 설정하였다. 설정 조건은 비육돈사 내부 격자의 한 변의 길이가 0.2, 0.5, 0.7, 1.0m로 결정하였다.

축산시설 내부의 공기의 유동학적 특성을 분석함에 있어서 레이놀즈수가 큰 경우에는 해가 불안정하기 때문에 난류모델의 선택은 무엇보다 중요하다. 난류는 공기의 유동에 있어서 무질서하고 비정상성을 가지는 유동형태를 말하며 레이놀즈수가 낮은 층류 (Laminar flow)와 비교하여 확산 (Diffusion)이 작고, 대류 (Convection)가 공간 내에서 크게 작용하며 압력 및 속도가 시공간에 따라 빠르게 변화한다. 따라서 난류의 경우에는 수송계수가 크고 물체 작용하는 저항이 크기 때문에 난류 유동을 정확하게 해석하는 것은 자연현상을 정확하게 예측함에 있어서 중요성을 나타낸다. 자연현상을 더 현실적으로 모사하기 위하여 현재까지 다양한 난류모델 이론이 정립되었고, 수치해석 연구 분야에 적극적으로 활용되고 있다. 본 연구에서는 해석하고자 하는 모델 특성, 연산 도메인, 기타 환경조건 등을 고려하여 적절한 난류 모델을 선정하고자 하였다. 다양한 난류모델 가운데 Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) 모델에 기반한 모델인 One-Equation Model (Spalart-Allmaras)과 Two-Equation Models (Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$, Standard $k-\omega$, SST $k-\omega$)가 있다. One-equation 난류 모델은 하나의 난류 수송방정식 (난류운동에너지)을 풀이하며 대표적인 모델로써 Spalart-Allmaras 모델이 있다. Spalart -Allmaras 모델은 박리현상이 적은 흐름에 대한 설명력은 높게 나타나는 반면 박리현상이 큰 해석과 자유 전단흐름에 대해서 취약한 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 Spalart-Allmars 모델에 대해서 별도로 검증을 수행하지 않았으며, 공학분야에서 가장 일반적이고 폭넓게 사용되고 있는 Two-equation 난류모델 가운데 3가지 $k-\epsilon$ 모델과 2가지 $k-\omega$ 모델 총 5가지 RANS 모델 기반 난류 모델을 고려하고자 하였다.

따라서, 외부 및 내부의 환경 조건은 현장 실험을 통하여 얻은 데이터를 바탕으로 하였으며, 계산의 정확도에 큰 영향을 주는 난류 모델의 경우 일반적인 농업시설인 온실과 축산시설에서 많이 사용되고 있는 Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$ 등의 $k-\omega$ model과 Standard $k-\omega$ 와 SST $k-\omega$ 의 $k-\omega$ 총 5개의 난류모델을 사용하였다. 적합한 난류모델을 선정하고자 하였다. 모델의 검증은 현장에서 측정하고 있는 온·습도 데이터와 적외선 표면 온도 측정계 등으로 각 벽체의 표면 온도 및 돼지의 표면 온도 등을 측정된 데이터와 동시간대에 측정된 다채널 데이터 수집 장치의 데이터를 종합하여 수행되었

다. 비육돈사 내에서는 온도와 같은 환경 조건이 연속적으로 변화하기 때문에 시뮬레이션에 필요한 안정적인 데이터를 얻기가 힘들다. 따라서 축적한 데이터와 현장 방문 시 측정된 데이터를 바탕으로 비교적 온도의 분포가 안정적인 기간 동안의 데이터를 사용하여 식 (22)로부터 산출된 R^2 을 통하여 검증 실시하였다.

표 2-6-2 CFD 시뮬레이션 모델을 위한 경계 조건

Boundary conditions of CFD model	Content	Input values
	Density of air	1.225 kg·m ⁻³
	Surface temperature of walls	Values measured in Nov, 2016
	Maximum cell size	Selected from grid independence test (0.2, 0.5, 0.7 and 1.0m)
	Turbulence model	Selected from validation test (Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$, SST $k-\omega$, Standard $k-\omega$)

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})(Y_i^{simulation} - \overline{Y^{simulation}})}{\sqrt{(Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})} \sqrt{(Y_i^{simulation} - \overline{Y^{simulation}})}} \right)^2 \quad \text{식 (22)}$$

2.7 필요환기량 산정

입기와 배기는 대상과 목적에 따라 방식과 요구되는 환기량이 다르므로 대상과 목적에 부합되도록 환기설계를 할 필요가 있다. 축사의 환기는 축사 내의 온도, 습도 및 오염물질을 적정 수준으로 유지할 수 있도록 조절되어야 하며, 가축의 필요환기량은 주변 온도와 축사 내 가축에 의해 발생하는 열과 수분, 가스 환경 등의 수준에 따라 차별적으로 산정할 수 있다. 일반적으로 축산시설에서 가축 생육을 위하여 요구되는 필요환기량은 식 (23)와 같이 대상 축산시설과 가축이 요구하는 환기 횡수로부터 손쉽게 계산할 수 있다. 또한 가축의 마리당 필요환기량과 사육두수를 고려하여 필요환기량을 다음 식 (24)와 같이 산정할 수 있으며, 각 축종에 따른 마리당 필요환기량은 다음 표 2-7-1과 같다.

최소환기량이란 축사 내부 온도와 관계없이 최소한으로 유지시켜주어야 하는 시간당 공기 교환량을 의미한다. 여름철에 비하여 겨울철에는 외부 기온이 낮기 때문에 환기를 시킬 경우 차가운 외기가 축사 내부에 영향을 주기 때문에 환기량을 최소로 운영된다. 강제환기식 배기팬이 최소환기량으로 연속적으로 이루어지며, 이러한 환기팬 운영은 유지되어야 한다. 자연환기 방식에서는 공기의 유입구와 배출구를 최소한으로 조절하여 이루어지는 환기량이다. 즉, 축사 내에서 발생하는 유해가스 등을 제거하기 위한 최소환기량이다. 적온기 환기량이란 가축의 성장단계별, 급여사료의 영양수준에 따라 일반적으로 우리나라의 봄, 가을에 해당되며 가축의 생리활동에 가장 적절한 온도를 의미한다. 고온기 환기량이란 가축에게 제공해야 할 적정온도 범위 이상의 시점부터, 일반적으로 우리나라의 경우 여름철 혹서기의 환기량을 의미한다. 자연환기 방식의 경우에는 축사의 개방면적을 가축의 성장단계에 따라 최대한 개방해야 되고 강제환기방식에서는 냉방장치 등을 가동하여 축사 내 온도를 낮추는 등 환기량을 최대한 높여야 한다.

$$\text{환기량}(m^3/h) = \text{축산 시설 체적}(m^3) \times \text{필요한 환기 횟수}(h^{-1}) \quad \text{식 (23)}$$

$$\text{환기량}(m^3/h) = \text{마리당 필요환기량}(m^3/(h \times \text{head})) \times \text{두수}(h) \quad \text{식 (24)}$$

표 2-7-1 축종 (닭, 돼지)에 계절별 마리당 필요환기량 (MWPS-7)

축종	구분		저온기	적온기	고온기
			환기량 [m ³ /(min·두)]		
돼지	모든 + 자돈	182 (kg)	0.570	2.260	14.150
	초기자돈	5.4 ~ 13.6 (kg)	0.060	0.280	0.710
	자돈	13.6 ~ 34.0 (kg)	0.085	0.425	0.991
	육성돈	34.0 ~ 68.0 (kg)	0.198	0.679	2.123
	비육돈	68.0 ~ 100.0 (kg)	0.283	0.991	3.396
	임신돈	147 (kg)	0.340	1.132	4.245
	종모돈	182 (kg)	0.396	1.415	8.490
닭	0 ~ 7 이상		0.001	0.006	0.011
	7 일 이상		0.003	0.014	0.028
	산란계		0.003	0.014	0.028- 0.042

Heat, Moisture, Enthalpy를 조절을 필요환기량 산정에 있어서 식은 다음과 같다. 세 가지의 필요환기량 산정법은 축사 내부에서 발생하는 현열, 잠열, 총열량, 비열 등으로부터 산정할 수 있다 (표 2-7-2). 식에 따라 $T_i - T_o$, $W_i - W_o$, $E_i - E_o$ 의 값이 작을수록 축산시설 내부에서 필요로 하는 환기량이 과도하게 증가하는 경향이 있다. Pedersen et al (1998)은 온도, 습도, 가스(CO₂)를 이용하여 축산시설 내에서 환기율을 산정하기 위한 3가지 균형 방정식을 비교한 바 있다 (식 (25) ~ 식 (28)). 앞서 언급한 바와 같이 그들은 $T_i - T_o$, $W_i - W_o$, $E_i - E_o$ 의 값이 작을수록 필요환기량이 증가하는 동일한 문제점을 나타낸 바 있으며, 이를 위하여 온도, 습도 등의 측정 데이터의 전처리를 수행하였다. Pedersen et al (1998)²²⁾의 기본 가정을 바탕으로 하였으며, 그 가정은 다음과 같다.

- 1) 측정된 상대습도 가운데 97%이상에 해당하는 값들에 대해서는 97%로 간주하였다.
- 2) 매시간 측정되는 실내·외 ΔT 가 2°C미만 또는 ΔC 가 200ppm 미만을 고려하지 않았다.
- 3) 매시간 측정되는 실내·외 ΔW 는 $0.5 \times 10^{-3} kgm^{-3}$ 은 고려하지 않았다.

3 가지 균형방정식 가운데 온도의 경우, 실내·외의 온도차가 5 °C를 초과하는 경우와 미만인 경우를 모두 포함하여 필요환기량 산정결과를 비교하면, 실내·외의 온도차가 5 °C를 초과할 경우에 있어서 필요환기량 추정치에 대한 상관관계가 크게 나타났으며 ($R^2 = 0.78$), 반면, 5 °C미만의 값을 포함한 경우에는 필요환기량 추정치에 대한 상관관계가 매우 낮게 나타는 것을 확인할 수 있다 ($R^2 = 0.08$) (그림 2-7-1).

22) Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Koerkamp, P. G., Uenk, G. H., ... &White, R. P. (1998). A comparison of three balance methods for calculating ventilation rates in livestock buildings. Journal of Agricultural Engineering Research, 70(1), 25-37.

$$\text{Ventilation requirement for sensible heat } (Q) = \frac{Q_s}{C_p \times \gamma \times (T_i - T_o)} \quad \text{식 (25)}$$

$$\text{Ventilation requirement for latent heat } (Q) = \frac{Q_l}{\gamma \times (W_i - W_o)} \quad \text{식 (26)}$$

$$\text{Ventilation requirement for enthalpy } (Q) = \frac{Q_s + Q_l}{(E_i - E_o)} \quad \text{식 (27)}$$

$$\text{Ventilation requirement for dust } (Q) = \frac{K}{P_a - P_o} \quad \text{식 (28)}$$

여기서, Q_s : Sensible heat, C_p : specific density, γ : specific gravity, T_i : internal set temperature in livestock building, T_o : Outdoor temperature, Q_l : Latent heat, W_i : internal set moisture in livestock building, W_o : outdoor moisture in air, E_i : internal set enthalpy in livestock building, E_o : outdoor enthalpy in air, K : Concentration of gas or dust in livestock building, P_a : allowable concentration of the gas or dust, P_o : outdoor concentration of the gas or dust

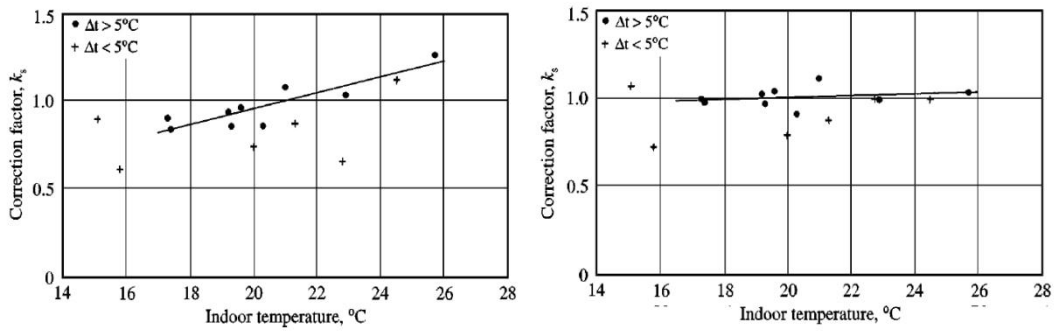


그림 2-7-1 실내·외 온도 차이별 필요환기량에 대한 상관관계

표 2-7-2 가축의 수분 및 열 발생량 (Esmay, 1986²³)

가축 종류	체중 (kg)	온도 (°C)	수분발생량 kg/(h·두)	잠열발생량		현열발생량		총발생열량	
				[kJ/(h·두)]	(W/두)	[kJ/(h·두)]	(W/두)	[kJ/(h·두)]	(W/두)
돼지	22.73	4.4	0.054	132.9	36.9	320.7	89.1	453.7	126.0
		10.0	0.059	144.5	40.1	256.4	71.2	400.9	111.3
		15.6	0.066	160.4	44.5	219.4	61.0	379.8	105.5
		21.1	0.082	199.4	55.4	159.3	44.3	358.7	99.7
		26.7	0.107	260.6	72.4	87.6	24.3	348.2	96.7
	45.45	4.4	0.063	155.1	43.1	467.4	129.3	622.5	172.9
		10.0	0.068	166.7	46.3	371.4	103.2	538.1	149.5
		15.6	0.082	199.4	55.4	296.5	82.3	495.9	137.7
		21.1	0.100	243.7	67.7	209.9	58.3	453.7	126.0
		26.7	0.122	299.6	83.2	143.5	39.9	443.1	123.1
	90.90	4.4	0.091	221.6	61.5	685.8	190.5	907.3	252.0
		10.0	0.095	232.1	64.5	548.6	152.4	780.7	216.9
		15.6	0.102	249.0	69.2	436.8	121.3	685.8	190.5
		21.1	0.120	293.3	81.5	339.7	94.4	633.0	175.9
		26.7	0.150	365.0	101.4	236.3	65.6	601.4	167.0
산란계		온도 (°C)	수분발생량 [g/(h·kg)]	잠열발생량		현열발생량		총발생열량	
				[kJ/(h·kg)]	(W/kg)	[kJ/(h·kg)]	(W/kg)	[kJ/(h·kg)]	(W/kg)
야간	-3.3	1.5	3.71	1.03	16.49	4.58	20.20	5.61	
	0.6	2.0	4.86	1.35	16.02	4.45	20.88	5.80	
	8.3	1.8	4.39	1.22	14.40	4.00	18.79	5.22	
	12.2	2.4	5.80	1.61	12.78	3.55	18.58	5.16	
	17.8	2.2	5.33	1.48	12.31	3.42	17.64	4.90	
	27.8	3.4	8.14	2.26	8.82	2.45	16.96	4.71	
	34.4	4.5	10.91	3.03	3.96	1.10	14.87	4.13	
주간	-3.3	1.5	3.71	1.03	25.52	7.09	29.23	8.12	
	1.7	2.2	5.33	1.48	19.48	5.41	24.80	6.89	
	8.3	2.3	5.58	1.55	17.17	4.77	22.75	6.32	
	12.2	3.2	7.67	2.13	15.30	4.25	22.97	6.38	
	17.2	3.4	8.14	2.26	15.30	4.25	23.44	6.51	
	22.2	3.4	8.35	2.32	15.08	4.19	23.44	6.51	
	27.8	4.1	9.97	2.77	13.68	3.80	23.65	6.57	
	33.3	5.1	12.31	3.42	-	-	12.31	3.42	

본 연구에서는 우선적으로 온도, 습도를 이용하여 축산시설 내에서 환기량을 산정하고자 하였으며, 추후 이에 대한 민감도 분석 또는 관련 분석을 통한 필요환기량 산정 결과의 오차를 줄일 수 있는 기본가정을 도출하고자 하였다. 추가적으로, 가스와 분진의 경우에는 축산시설이 열악한 경우 쉽게 손상됨으로 많은 유지관리비가 요구되기 때문에 온도, 습도, 환기량, 가축의 생리학적 특성을 고려하여 축산시설 내부의 가스 및 분진 농도를 예측하는 회귀식을 도출하고 이로부터 필요한 환기량을 도출하고자 한다. 축산시설 내부에서 발생하는 오염물질은 가축과 바닥재 등에서 발생하는 유기성 분진과 분뇨에서 발생하는 암모니아 등의 기체가 대표적이다. 이러한 물질들은 농도의 측정을 위해 비교적 고가의 센서가 필요하기 때문에 일반적으로 농가에서 모니터링을 실시하고 있지 않다. 또한 육계사 내부에서 발생하는 오염물질의 양에 대한 문헌이 부족한 실정이다. 따라서 오염물질의 배기를 위한 환기 운영을 위해서 오염물질의 발생량에 대한 추정 방법이 필요하다. 이에 본 연구에서는 분진과 가스 농도측정 결과를 분석하여 오염물질의 발생량에 대한 회귀식을 추정하였다. 오염물질 배기를 위한 환기량 공식을 변형하면

23) Esmay, M. L., & Dixon, J. E. (1986). Environmental control for agricultural buildings. Avi.

다음의 식 (29)이 성립한다. 오염물질의 배출량 E (식 (30))를 추정하기 위해 상업적 농가에서 일반적으로 측정하는 온도와 상대습도, 그리고 육계의 경우, 육계의 일령에 따라 회귀분석을 실시하였다.

$$\dot{V} = \frac{\dot{B}}{\rho(b_i - b_o)} \quad \text{식 (29)}$$

여기서, \dot{V} 은 축산시설의 환기량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), \dot{B} 는 오염 물질의 발생량 (kg s^{-1}), ρ 는 공기의 밀도 (kg m^{-3}), b_i 와 b_o 는 각각 시설 내부와 외부의 오염물질의 농도이다. 외부의 오염물질 농도가 0이라고 가정하면 ($b_o = 0$), 오염물질의 발생량을 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\dot{B} = \rho b_i \dot{V} = \rho E \quad \text{식 (30)}$$

여기서, E 는 오염물질의 배출량 (kg s^{-1})을 의미한다.

2.8 다점 센서 위치 선정법

축산시설의 온도와 상대습도, 오염물질의 농도 등 환경 조건은 가축의 생산성을 좌우하는 요소이다. 사육시설 내부의 사육 적정 환경 유지를 위해서는 내부 환경의 모니터링을 통한 시설 제어가 요구된다. 대규모 사육 시설에서 가축의 일정한 성장을 위해선 다수의 센서를 활용한 환경 균일성의 판단 또한 필요하다. 그러나 상업적 목적으로 운영되는 일반적인 농장은 경제성과 관리상의 이점을 이유로 제한된 수의 센서만을 설치하고 있으며 센서의 설치 위치는 경험적 방법에 의존하고 있는 실정이다. 소수의 센서를 통한 환경 모니터링은 불균일한 환경의 축사 전체의 환경을 대표하는 수치 혹은 국부적 환경 조절이 필요한 위치의 환경을 측정하지 못할 가능성이 있다. 시설의 평균적인 환경을 대변하는 센서 위치를 오차 기반 센서 위치 선정 방법을 통해, 환경 변화에 취약하여 지역적 환경 제어가 필요한 지점을 엔트로피 기반 센서 위치 선정 방법을 통하여 선정하였다. 본 연구에서는 각 축산시설에서 모니터링한 온도 데이터를 기반으로 센서의 설치 개수에 따른 최적 위치 조합을 선정하였다.

2.8.1 오차기반방법

오차 기반 센서 위치 선정 방법은 계사의 전체 평균 환경을 대표하는 지점의 조합을 적정 센서 위치로 선정하는 방법이다. 평균 환경은 대상시설에 설치한 모든 센서의 측정치 평균을 통해 평가한다. 전체 평균과 개별 센서 조합의 평균의 차이를 오차로 간주한다. 본 연구에서 적용한 오차 기반 센서 위치 선정 방법의 구체적인 과정은 Arnesano et al. (2016)을 참고하였다. 최적 센서 조합을 평가하는 과정은 그림 2-8-1 및 그림 2-8-2와 같다.

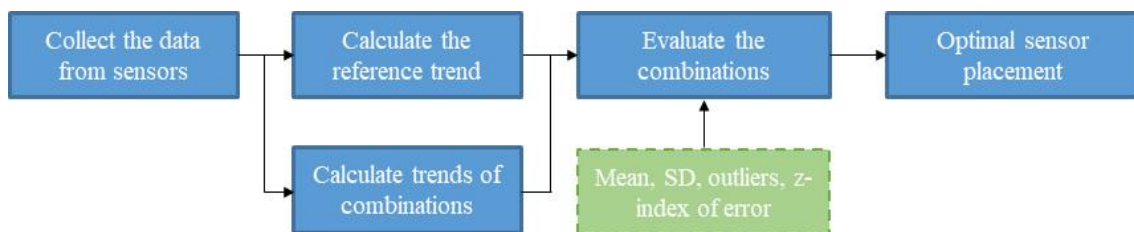
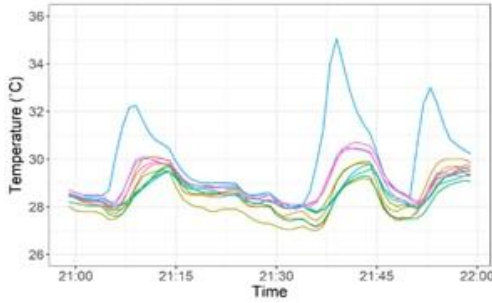
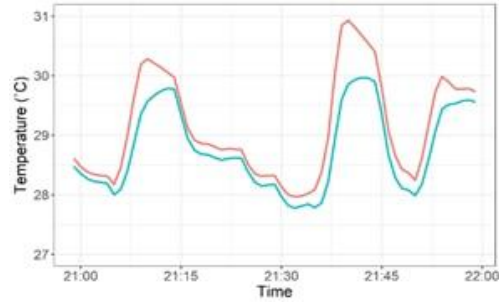


그림 2-8-1 오차 기반 방법의 수행 절차 (Arnesano et al., 2016²⁴)

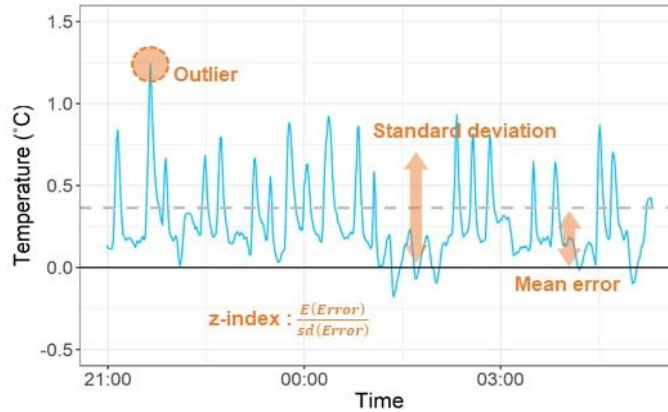
24) Arnesano, M., Revel, G. M., &Seri, F. (2016). A tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports



(a) 센서별 모니터링 결과



(b) 기준 및 조합 추세 산정



(c) 오차 추세를 통한 통계 지표 산정

그림 2-8-2 오차 기반 방법의 데이터 가공 절차

개별 센서들을 통한 환경 모니터링 결과를 시간에 따라 도시하면 그림 2-8-2(a)와 같다. 모든 센서의 모니터링 결과를 시간별로 평균하여 오차 산정을 위한 기준 추세 (Reference trend)를 산정하였다. 평가를 위한 센서 위치 조합의 평균을 마찬가지로 산정하며 조합 추세 (Combination trend)로 명명하였다. 기준 및 조합 추세 간의 오차를 통해 오차 추세 (Error trend)를 산정하며, 오차 추세를 통하여 대상 센서 조합의 평가를 위한 네 가지 통계적 지표를 산정하였다 (표 2-8-1). 총 n 개의 센서를 통한 모든 조합 ($2^n - 1$ 개)을 대상으로 동일한 과정을 통해 통계적 지표를 산정하였다. 각 통계 지표에 대하여 표준화를 통해 0에서 1 사이 점수를 산정한 후, 점수의 합을 통해 대상 조합을 평가하였고 최종적으로 센서의 개수에 따른 최적 조합을 선정하였다.

표 2-8-1 오차 기반 방법의 센서 조합 평가를 위한 통계 지표

지표	계산식
평균	$E(Error)$
표준편차	$sd(Error)$
z-index	$\frac{E(Error)}{sd(Error)}$
이상치 개수	$ \{E E \geq 3 \times sd(Error)\} $

2.8.2 정보엔트로피

1970년 Wilson에 의해 과학적인 학문으로 연구되었으며, 열역학 이론에 기본을 두고 있는 엔트로피 개념은 열역학의 제 2법칙에 기초한다. 통계학 및 확률론에서는 정보 엔트로피 (Information entropy) 또는 샤넌 엔트로피 (Shanon entropy)라고 하며, 어떤 확률 분포를 나타내는 사상에 대한 불확실성의 하나의 척도이다. 엔트로피는 통신신호를 분석하는 정보이론에서 기원되었으며, 일반적으로 엔트로피는 무질서도 또는 불확실성의 척도라고 알려져 있으나, 정보이론에는 엔트로피를 특정 신호가 가지고 있는 정보량 (Amount of information)으로 정의한다. 정보량은 어떠한 정보에 대한 사상의 발생이 인지하였을 때 얻는 정보의 크기를 나타내는 값으로 확률 P 인 사상이 일어났다는 것을 인지하였을 때 정보량은 다음과 같이 표현되며, 단위는 비트(bit)이다 (식 (31)).

$$I(E) = -\log_2 [P(E)] \quad \text{식 (31)}$$

엔트로피는 불확실성 (Uncertainty)과도 같은 개념이라고 인식할 수 있다. 즉, 예측 불가능한 불확실성이 높을수록 정보의 양이 더 많고 엔트로피는 증가한다. 즉 Entropy는 확률 분포 $P(E)$ 에 담긴 불확실성을 나타내는 지표로, 이 값이 클수록 방향성과 규칙성이 없는 카오스가 됨을 뜻한다. 통계적인 해석이 가능한 모든 무작위 변량에 대해 엔트로피를 계산할 수 있고 어떤 정보에 대해 객관적으로 평가할 수 있는 기준으로 활용이 가능하다고 알려져있다 (Shanon et al., 1949²⁵). Entropy 함수는 다음 식 (32)과 같이 표현할 수 있으며, 이때의 엔트로피 값은 식 (36)의 범위 내에 존재한다. 즉, Entropy의 최소값은 0 (하나의 발생확률이 1 이고, 나머지 모든 발생확률은 0 인 경우)이고, 최대값은 $\log_2 P(E)$ (모든 발생확률이 $1/q$ 로 동일한 경우)이다 (식 (33)).

$$H(S) = \sum_{i=1}^a P_i(E) \log_2 P_i(E) \quad \text{식 (32)}$$

$$0 \leq H(S) \leq \log_2 P(E) \quad \text{식 (33)}$$

엔트로피는 어떠한 출력값들에 대한 확률 사상으로 동일하게 발생할 때 최대가 되고, $H(s) = \log_2 r$ 로 주어진다. 일반적으로 어떠한 출력값들이 많을수록 엔트로피가 크게 될 것으로 기대된다. 그러나 실제로는 r 이 클 경우 겉보기로는 엔트로피가 상당히 커질 것이지만 확률 분포에 따라서 엔트로피는 작아질 수 있다. 이것을 나타내는 것을 상대 엔트로피이고, 상대엔트로피는 $h(s)$ 는 항상 1보다 작다 (식 (37)).

$$h(s) = \frac{H(s)}{\log_2 r}, h(s) \leq 1 \quad \text{식 (34)}$$

모니터링 위치 조합의 최적화는 모니터링 위치간의 중복되는 정보가 최소가 되도록 해야 하며 반대로 시스템의 정보를 최대로 획득해야 한다. 즉 최적의 모니터링 센서 절점 조합은 주어진 제약조건 내에서 다른 절점들로부터 최대의 정보량을 얻을 수 있는 위치들의 조합이며 전체 센서 중 내부 변화에 가장 민감한 절점에 센서를 설치하여 관리함으로써 시스템에 대해 전반적인 신뢰도를 높일 수 있다. 최적화 목적함수는 절점들의 조합에 따른 총 정보량으로 식 (35)와 같이 나타내었다.

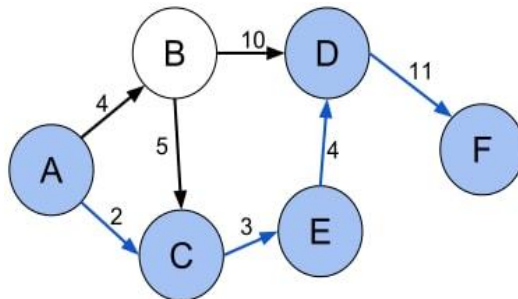
25) Shanon, C. E., The Mathematical Theory of Communication, 1949, The University of Illinois Press.

$$MAX \sum_{i=1}^m T(X_i, X_j, \dots, X_p) = MAX[H(X_k) + \dots + H(X_p) + \sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=k}^p T(X_i, X_j)] \quad \text{단, } i \neq j \quad \text{식 (35)}$$

여기서, m 은 측사 내 센서의 절점 수이며, p 는 설치할 절점의 수를 의미한다. $H(X_k) + \dots + H(X_p)$ 는 선택된 모니터링 위치 절점 각각의 엔트로피 합을 의미하며, $\sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=k}^p T(X_i, X_j)$ 는 선택되지 않은 절점이 선택된 절점들에게 주는 정보전달량의 합을 의미한다.

2.8.3 브루트 포스 알고리즘 (Bruth Force algorithm)

브루트 포스 알고리즘은 무차별 대입 알고리즘 또는 전수조사법이라고 한다. 조합 가능한 모든 문자열을 하나씩 대입해 보는 방식으로 문제를 푸는 것이다 (그림 2-8-3). 이론적으로 가능한 모든 경우의 수를 분석하기 때문에 항상 정확도 100%를 보장한다는 점에서, 시간이 충분하다면 가장 정확한 방법이다. 주로 암호학에 적용되고 있지만 다른 분야에서도 사용되고 있다. 암호학에서는 가장 확실한 방법으로 통용되고 있으며 무엇보다도 암호 확인 작업이라는 것이 손으로 입력한 문자열의 동일 여부를 확인하는 것이기 때문에, 가능한 경우를 하나씩 대입하다 보면 언젠가는 암호를 찾을 수 있게 되는 식이다. 그러나 알고리즘 해석을 위하여 소요되는 시간이 가장 큰 문제이며, 브루트 포스 방법에는 문제의 복잡도에 따라 매우 민감하다는 단점을 가지고 있다. 또한 문제의 복잡성에 따라 비효율적인 알고리즘이 될 수 있다. 특히 경우의 수가 문제의 복잡도에 따라 기하급수적으로 증가하는 경우, 문제를 해결하는 데에는 필요한 시간 역시 기하급수적으로 증가한다.



경우의 수	경로	이동거리 총합
1	A → B → D → F	25
2	A → B → C → E → D → F	27
3	A → C → B → D → F	28
4	A → C → E → D → F	20

그림 2-8-3 브루트 포스 알고리즘을 활용한 모든 이동 경우에 수에 대한 최단 거리 산정 예시

3.1.1 육계사 내 온·습도 모니터링

육계사의 1차 사육기간은 2016년 11월 15일 (입추) 부터 12월 15일까지 31일의 기간으로 환절기 및 겨울철에 해당한다. 11월 17일부터 11월 27일까지 데이터는 농장주의 관리 소홀로 인하여 기록되지 않았고 해당 기간의 결측치는 대상 계사에서 운영하는 센서 데이터로 보완하였다. 그림 3-1-1과 그림 3-1-2는 해당 기간 동안 측정된 일평균 시설 내부 및 외부의 온·습도 및 해당 일령의 육계 적정 사육

온·습도 (점선)를 나타낸다.

이 때, 농촌진흥청에서 제시하는 사육 적정 온도와 습도 수치는 표 3-1-1과 같다. 대상 농장의 환기량 및 난방시설의 가동은 평균 온도를 기준으로 이루어진다. 이로 인하여 내부 평균 온도는 적정 사육 온도 간 편차는 1.6°C 이내로 유지 되었다. 반면 온도를 통한 내부 환경제어를 실시함에 따라 시설 내부 습도는 적정 사육 환경 조건을 벗어나는 양상을 보였다. 특히 1~2일령의 내부 상대습도는 최적 습도에 비하여 최대 28.2% 낮은 수준으로 나타났다. 대상 농가에서 입추 작업 전 바닥재를 교체하였으며, 사육 기간 초기의 경우 높은 사육 적정 온도 조건 (34°C)으로 인하여 온풍기를 가동하였기 때문으로 판단된다. 내·외부 공기온도의 측정치간 상관계수는 온도와 상대습도가 각각 0.15, 0.26로 매우 낮게 산정되었으며, 일령과 내부 습도의 경우에는 0.84으로 상대적으로 높은 상관성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 무창 형태의 강제환기식 시설에서 동절기 최소 환기를 실시함에 따라 사육환경에 대한 외부기상의 영향이 미미한 것으로 판단되었다. 또한 저습한 환경에서 사육시 육계의 탈수작용 등으로 인한 성장 저하와 질병 발생이 우려되므로 온도와 습도를 종합적으로 고려한 환경 조절 시스템이 필요할 것으로 사료된다.

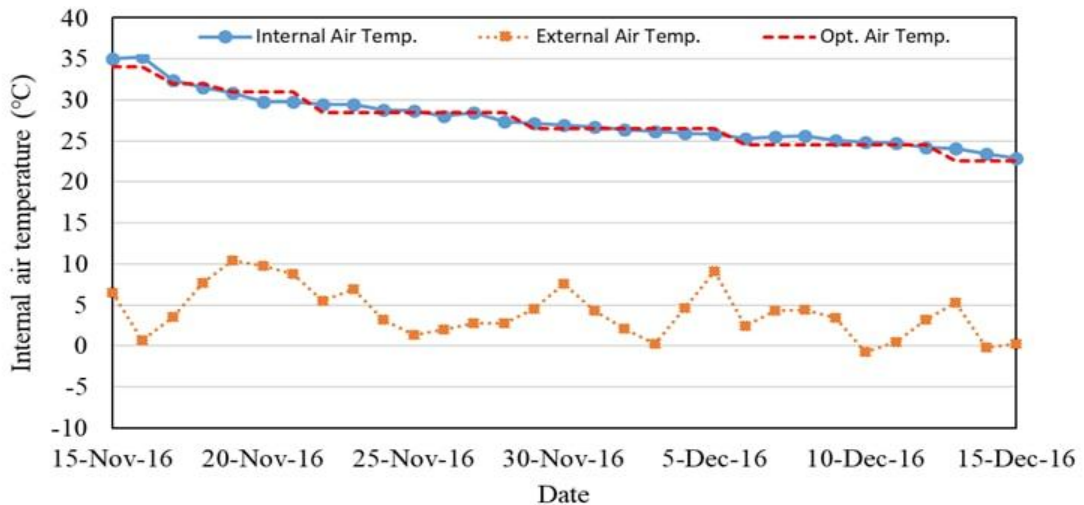


그림 3-1-1 대상 계사 1차 사육기간 (2016. 11. 15.~2016. 12. 15)의 온도 변화

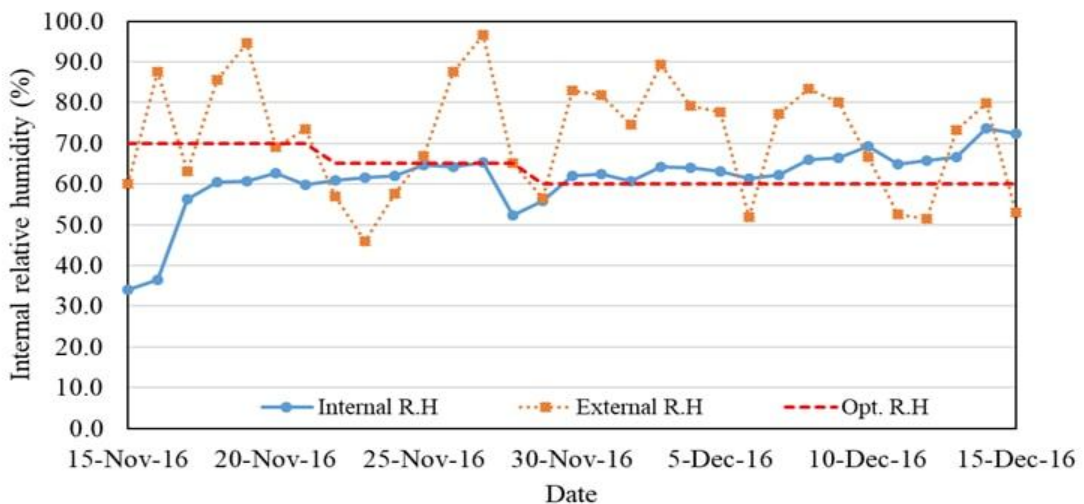


그림 3-1-2 대상 계사 1차 사육기간 (2016. 11. 15.~2016. 12. 15)의 상대습도 변화

표 3-1-1 육계의 일령별 적정 사육 온도 및 습도 (농촌진흥청, 2016.)

일령	적정 온도 (°C)	적정 습도 (%)
1 ~ 2	34	70
3 ~ 4	32	70
5 ~ 7	30 ~ 32	70
8 ~ 14	28 ~ 29	65
15 ~ 21	26 ~ 27	60
22 ~ 28	24 ~ 25	60
29 ~ 35	22 ~ 23	60
36 ~ 42	21 ~ 22	60

대상 육계사의 온도 조절 시스템은 설정 온도와 내부 온도의 차이에 따라 자동적으로 환기 및 난방 레벨이 결정되는 방식이다. 환기 레벨에 따른 환기팬의 가동 대수와 주기, 난방 단계에 따른 히터 가동 대수는 사용자가 설정하며, 대상 계사에 적용된 환기 단계 설정은 다음 표 3-1-2과 같다.

표 3-1-2 대상 육계사에 적용된 환기 단계 설정

환기 레벨	온도차	환기팬 가동 주기		환기팬 가동 대수	
		on	off	크로스 팬	터널 팬
1	0.0	10	290	3	0
2	0.1	15	285	3	0
3	0.1	22	278	3	0
4	0.2	37	363	3	0
5	0.2	41	259	3	0
6	0.3	52	248	3	0
7	0.3	66	234	3	0
8	0.3	77	223	3	0
9	0.4	90	210	3	0
10	0.4	100	200	3	0
11	0.4	110	190	3	0
12	0.5	120	180	3	0
13	0.5	130	170	3	0
14	0.5	140	160	3	0
15	0.6	150	150	3	0
16	0.7	160	140	3	0
17	0.8	180	120	3	0
18	0.9	150	150	3	0
19	1.0	연속 가동		3	0
20	1.2	150	150	3	1
21	1.3	연속 가동		0	2
22	1.4	연속 가동		0	3
23	1.5	150	150	0	4 *
24	1.7	연속 가동		0	4
25	1.9	연속 가동		0	5
* 레벨 24의 경우 터널 팬 1대는 주기적 가동, 3대는 연속 가동					

생육 초기 높은 적정온도 조건을 만족시키기 위하여 난방 레벨은 높은 수준을 유지하였고, 환기 레벨은 낮은 수준을 유지하였다. 특히 1, 2일령의 일평균 온풍기 가동 대수는 생육기간 중 최대 수준이며, 상기한 바닥재의 교체와 더불어 해당 기간의 낮은 상대습도의 원인으로 분석된다. 이후 일령이 증가하고 적정 생육 온도가 낮아지고 생체중 증가에 따른 육계의 발열량 증가에 따라 환기 레벨은 증가하고 난방 레벨은 감소하는 것으로 분석되었다 (표 3-1-3).

표 3-1-3 대상 계사 1차 사육기간 주령별 온도 및 습도 환경

주령	온도 (°C)			상대습도 (%)		
	내부	외부	변동계수	내부	외부	변동계수
1	35.1	3.7	0.026	35.2	73.4	0.049
2	27.3	2.8	0.021	52.4	65.0	0.028
3	26.4	4.6	0.018	62.1	78.3	0.022
4	25.1	2.7	0.023	64.8	68.0	0.025
5	23.4	1.3	0.028	71.6	70.8	0.027

대상 육계사의 운영 데이터와의 분석 결과, 초기 1일령 및 2일령 시 나타난 내부 온·습도 환경의 편차는 상당수 온풍기의 가동의 영향이 큰 것으로 나타났다. 다음 그림 3-1-3은 2일령 (11월 16일) 당시 온풍기의 가동 조건과 내부 온도 및 습도의 최대·최소값의 편차를 나타낸다. 온풍기의 가동과 편차의 변동 주기가 일치하며, 온풍기가 가동됨에 따라 온도의 경우 6~7°C, 상대습도의 경우 10~12% 가량 편차가 상승하는 것으로 측정되었다. 그림 3-1-4는 해당일의 온풍기 가동 조건에 따른 내부 온도 분포 킷투어를 나타낸다. 온풍기 가동시 영향을 직접적으로 받는 중앙부의 온도는 40°C 이상으로 적정온도를 6°C 가량 초과하였으나, 나머지 지역의 환경은 적정온도와 유사하였다. 사육 초기 온풍기 가동에 의해 내부 환경의 불균일성이 증가하는 문제를 해결하기 위해선 온풍기의 위치 및 공기 배출 각도 조절, 순환팬의 추가 가동 등의 조치를 취해야 할 것으로 사료된다. 또한 온풍기의 가동 대수를 줄이고 가동 주기를 실험 시 측정된 10분에서 낮추는 방법 또한 시도해볼 수 있다.

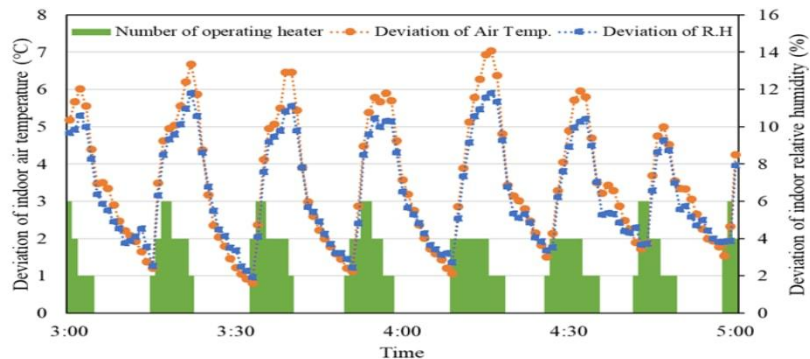


그림 3-1-3 1차 사육기간 2일령 온풍기 가동에 따른 온습도 최대 최소 편차 변화

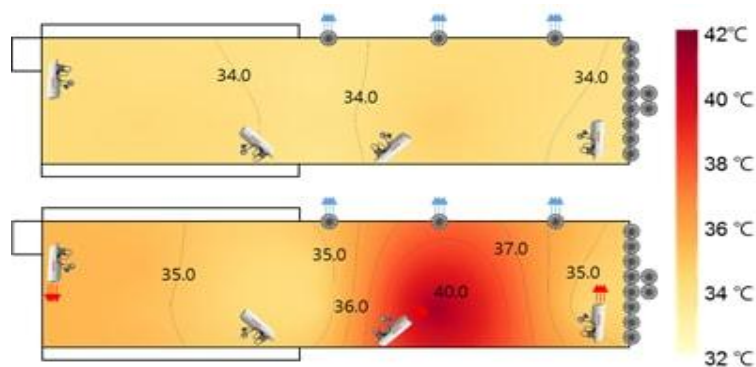


그림 3-1-4 온풍기 미가동 (위), 가동 (아래) 시 육계사 내부 온도 분포

동절기에 이루어진 2차 사육은 2016년 12월 29일부터 2017년 1월 31일까지 34일 동안 지속되었다. 그림 3-1-5, 그림 3-1-6은 2차 사육기간의 일별 온도 및 습도 조건의 변화 추이이다. 1차 사육기간과 마찬가지로 온도 기반의 환경제어 방식에 의하여 평균 온도의 변화 추이는 적정 사육 온도와 일치하였다. 상대습도의 경우 입추 이후 적정 습도에 비해 낮은 습도 환경이 조성되었으며, 2주령 이후 육계의 성장과 바닥재에 분변의 축적 등으로 인하여 내부 습도가 적정습도를 초과하여 역시 1차 사육기간과 유사한 양상을 보였다. 1차 사육기간과 달리 2차 사육기간에서는 육계의 입추 전 바닥재의 교체가 이루어지지 않았다. 이로 인하여 1일령의 상대습도는 1차 사육기간의 1.5배에 해당하는 49.8%가 측정되었다. 2일령 이후 11일령에 해당하는 1월 8일까지 높은 외부 상대습도 및 육계의 성장에 의한 호흡량 증가로 상대습도가 증가한 것으로 추측된다. 육계사 운영 데이터의 분석 결과, 5, 6일령의 경우 상대습도는 1차 사육기간에 비하여 10% 가량 낮았으며, 육계의 음수량은 일평균 53.7t로 1차 사육기간의 26.7t의 2.01배에 해당하였다. 사육 초기 적정 습도에 비해 20 ~ 30% 낮은 습도 환경으로 인한 지나친 음수가 원인일 가능성이 있으며, 내부 미스트 살포 등 습도 조절을 위한 추가 설비가 요구된다.

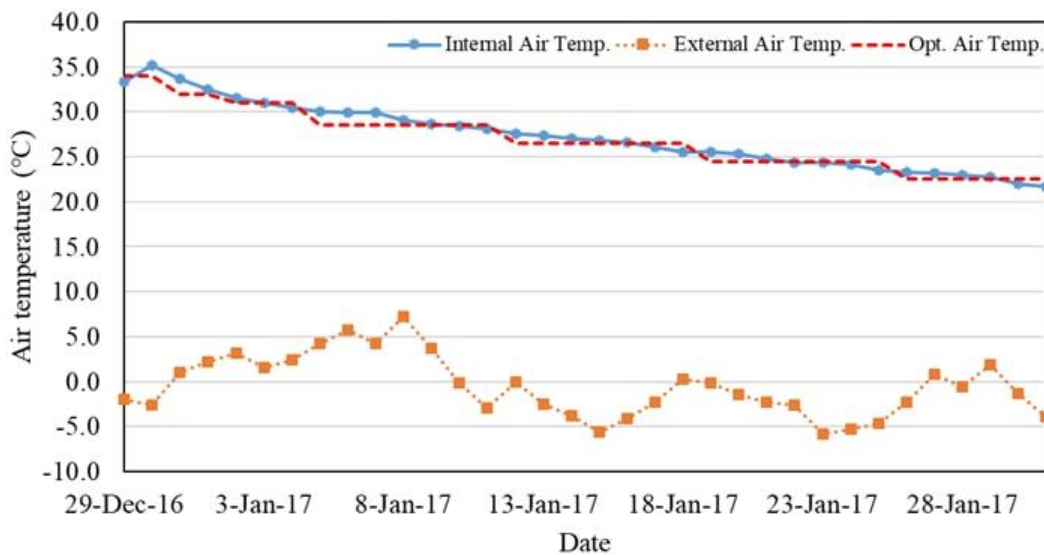


그림 3-1-5 대상 계사 2차 사육기간 (2016. 12. 29.~ 2017. 1. 31.)의 온도 변화

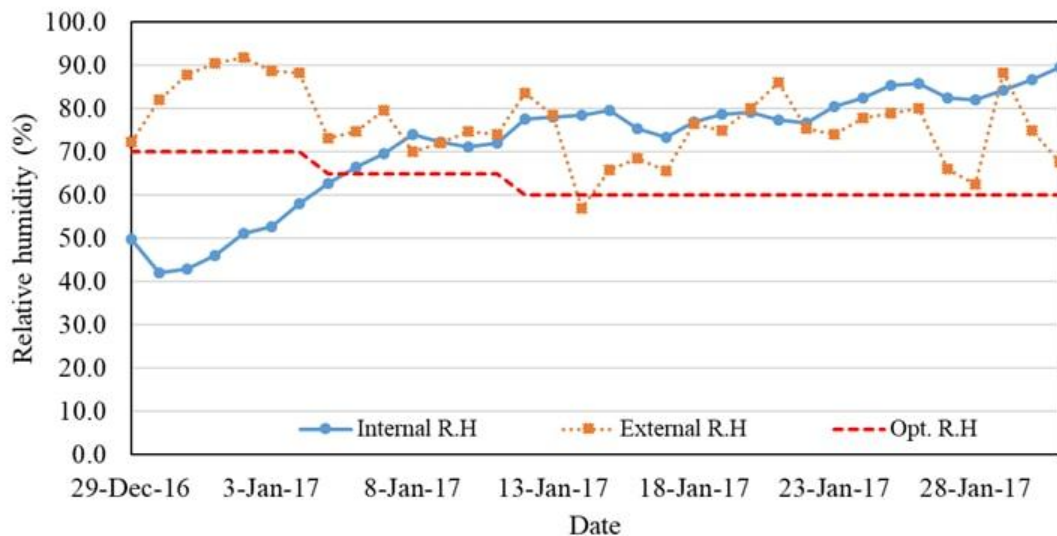


그림 3-1-6 대상 계사 2차 사육기간 (2016. 12. 29.~ 2017. 1. 31.)의 상대습도 변화

그림 3-1-7은 2차 사육기간의 내부 온도와 상대습도의 변동계수의 변화이다. 1일령부터 11일령 (1월 8일)까지 두 변수 모두 변동계수가 지속적으로 감소하며, 4주령 이후 안정된다 (표 3-1-4). 입추 초기의 경우에는 사육 적정 온도가 35°C로 높게 형성시키기 때문에 열풍기의 운영이 필수적이다. 따라서 이에 따른 온도와 상대습도 편차가 입추 초기에 가장 크게 발생하는 것을 관측할 수 있다. 또한 육계의 주령이 증가할수록 육계사 내부의 설정온도는 점차적으로 낮게 설정되고, 환기 레벨 (환기량)이 증가하나 일반적으로 최소 환기를 하기 때문에 그림 3-1-7과 같이 내부의 균일성은 사육초기에 비하여 갈수록 감소하는 것을 확인할 수 있다.

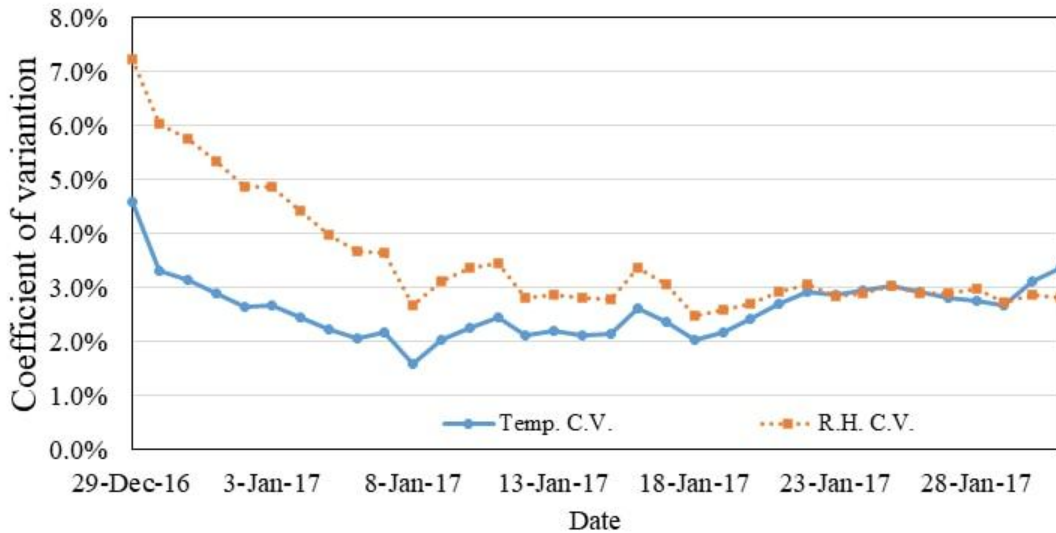


그림 3-1-7 대상 계사 2차 사육기간의 온·습도 변동계수 변화

표 3-1-4 대상 계사 2차 사육기간 주령별 온도 및 습도 환경

주령	온도			상대습도		
	내부	외부	변동계수	내부	외부	변동계수
1	32.5	0.9	0.031	49.0	85.9	0.055
2	29.2	3.2	0.021	69.8	74.1	0.034
3	26.7	-2.6	0.022	77.0	70.8	0.029
4	24.6	-3.2	0.027	80.0	78.1	0.029
5	22.7	-0.7	0.029	84.9	73.5	0.029

또한 3차 사육기간은 2017년 4월 13일부터 2017년 5월 14일까지 31일간이었으며, 봄에서 여름으로 넘어가는 환절기에 속한다. 그림 3-1-8은 해당 기간의 내부 온도 및 습도의 변화 추이를 나타낸다. 3차 사육기간의 외부온도는 날짜 및 주야의 변화에 따라 최소 8.1°C에서 최대 24.2°C까지 변동하였으며 표준편차는 5.83°C에 해당하였다. 반면 시설 내부 온도는 앞서 언급한 바와 같이 내부 온도는 1주령 육계의 권장 온도와 일치하는 30 ~ 35 °C의 범위를 일정하게 유지하였다. 반면 내부 상대습도의 경우 권장 상대습도인 60%에 비하여 다소 낮은 수치가 측정되었다. 입추 이후 최대 온도 39.4°C에서 출하 시 최소 온도 19.4°C까지 일령에 따라 감소하였으며, 주야간 변동은 상대적으로 적었다. 시설 내부 온도의

표준편차는 3.1°C로 산정되었다. 내부 온도의 일별 변동 추이는 농촌진흥청에서 제시하는 육계 사육 온도와 대부분 일치하였으며, 두 변수 간 상관계수는 0.90에 해당하였다. 1주령과 2주령 시 시설 내·외부 온도의 상관계수는 각각 0.057과 -0.020로 산정되었다. 사육 초기 내부 온도에 대한 외부 온도의 영향은 제한적인 환기의 실시와 내부 적온에 비해 낮은 외기온의 영향이 매우 적은 것으로 판단되었다. 반면 4월 27일 이후 낮 기간의 내부 온도는 외기온의 영향에 의해 상승하는 경향을 보였으며 3, 4주령의 내·외부 온도 간 상관계수는 각각 0.785, 0.727로 산정되었다.

상대습도의 경우 전체 기간에 대해 산정한 내·외부 측정치의 상관계수는 0.720으로, 1~2차 사육기간과 마찬가지로 사육환경에 대한 외부 기상의 영향이 높은 것으로 드러났다. 그러나 1, 2일령의 경우 바닥 교체에 의한 건조한 깔짚과 어린 육계의 낮은 수증기 발생량 (호흡, 분변, 음수)에 의하여 50% 이하의 낮은 상대습도가 나타났으며 이는 이전 사육기간과 동일한 경향이다. 5월 9일 이후 대상 지역의 습도가 급증함에 따라 시설 내부의 상대습도 역시 75% 이상의 높은 수치를 나타냈다.

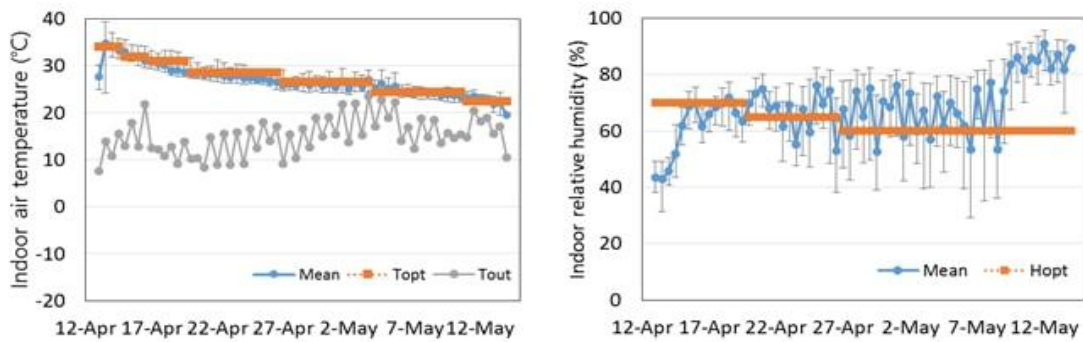


그림 3-1-8 대상 계사 3차 사육기간 (2017. 04. 13.~2017. 05. 14)의 온도 및 습도 변화

2017. 05. 31.부터 2017. 06. 31. 기간 동안 4차 사육이 이루어졌다. 6월부터 우리나라가 하절기에 해당하며, 측정 기간의 데이터 4, 5차 사육 기간 (2017. 07. 15.~ 2017. 08. 15.)의 측정 데이터를 통하여 하절기에 대한 분석을 실시하고자 하였다. 하절기의 경우에는 1~3차 사육기간 동안 나타나지 않았던 적정 사육온도 범위에 큰 오차가 육계 3주령부터 발생하기 시작하였다. 1~3차 사육기간과 동일하게 입추 초기에는 육계사 내부의 온도가 적정 사육 온도에 비교적 잘 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 3주령부터는 증가하는 외기온의 영향으로 인하여 축산시설 내부로의 대류열, 복사열, 전도열이 증가하고 축사 내부의 공기온도 편차가 적정 사육 온도 범위를 상대적으로 크게 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 4차 사육기간의 외부온도는 날짜 및 주야의 변화에 따라 최소 3.1°C에서 최대 42.0°C까지 변동하였으며 표준편차는 5.83°C에 해당하였다. 반면 시설 내부 온도는 입추 이후 최대 온도 39.37°C에서 출하 시 최소 온도 19.42°C까지 일령에 따라 감소하였으며, 주야간 변동은 상대적으로 적었다. 시설 내부 온도의 표준편차는 3.08°C로 산정되었다 (그림 3-1-9). 내부 온도의 일별 변동 추이는 농촌진흥청에서 제시하는 육계 사육 온도와 대부분 일치하였으며, 두 변수 간 상관계수는 0.899에 해당하였다. 1주령과 2주령 시 시설 내·외부 온도의 상관계수는 각각 0.057과 -0.020로 산정되었다. 사육 초기 내부 온도에 대한 외부 온도의 영향은 제한적인 환기의 실시와 내부 적온에 비해 낮은 외기온의 영향으로 인해 매우 낮은 것으로 분석된다. 반면 4월 27일 이후 낮 기간의 내부 온도는 외기온의 영향에 의해 상승하는 경향을 보였으며 3, 4주령의 내·외부 온도 간 상관계수는 각각 0.785, 0.727로 산정되었다. 육계의 성장에 따른 환기량의 증가와 더불어 외부 기온이 상승함에 따라 외기의 영향 증가한 것으로 추측된다.

습도의 경우에도 앞서 언급한 바와 같이 동일하게 입추 초기에는 35°C의 온도를 유지하기 위해서는 열풍기가 가동되고 이에 따라 육계사 내부의 상대습도는 적정 환경보다 낮게 유지 된다. 그러나 2주령부터는 열풍기 가동이 줄고 설정온도가 감소하기 때문에 환기량이 증가함에 따라 외부 기상환경에 영향

을 많이 받을 뿐만 아니라 육계 자체에서 발생하는 잠열과 음수량 증가로 인하여 전체적인 육계사 내부의 습도 환경이 적정 사육 환경 기준치와 비교하여 주령이 증가할수록 부적합해지는 것으로 나타났다.

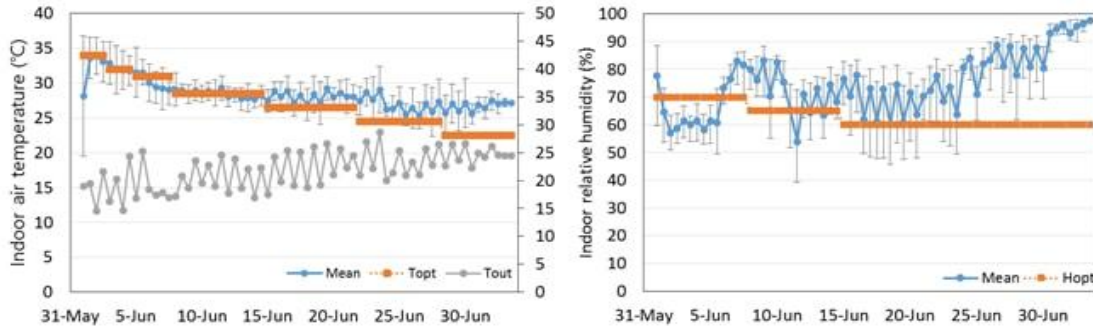


그림 3-1-9 대상 계사 4차 사육기간 (2017. 5. 31.~ 2017. 6. 31.)의 온도 및 상대습도 변화

다음 그림 3-1-10은 2017. 07. 16.부터 2017. 08. 15.일까지 5차 사육기간에 해당하는 육계사 내부에서의 온·습도 측정 결과를 나타낸다. 앞선 1~3차 사육과 동일하게 강제환기식 육계사의 육계 사육 시설 내부의 온·습도가 유지되었다. 그러나 4, 5차 사육기간 동안에는 육계사 내부의 온도가 환기팬 가동 설정 온도 보다 높게 유지되기 때문에 육계사 내부에 최대 환기가 일반적으로 운영되기 때문에 외부의 기상 환경과 내부의 기상환경이 유사한 패턴을 나타낸다. 그러나 앞선 사육 기간들과 동일하게 입추 초기에는 외기온 보다 높은 온도로 육계사 내부의 온도를 설정하기 때문에 환기가 적기 때문에 입추 초기의 패턴은 외기온도 변화와 유사한 패턴을 나타내지 못하는 것으로 판단되었다.

본 사육 기간의 경우에는 하절기에 해당하기 때문에 육계사 내부의 온도는 일반적으로 높게 형성되고 이에 따라 환기레벨 또한 높게 운영된다. 그럼에도 불구하고 전도열, 복사열, 대류열 등으로 인하여 내부의 온도는 육계의 입추 2주 후부터는 내부의 사육 적정온도를 유지하기 어려운 것으로 나타난다. 이에 따라 육계사에는 내부에 쿨링패드를 운영하게 되고 쿨링패드의 운영에 따라 육계사 내부의 상대습도는 적정 사육 수준 범위를 최대 38%까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 7월의 경우에는 강우 사상이 빈번하게 발생하였으며, 외기 온도가 높기 때문에 환기량이 증가하여 축사 외부의 공기 습도와 유사하게 축사 내부의 습도가 유지 되는 것으로 분석되었다. 여름철 습도 환경에 있어서 해당 축사뿐만 아니라 대부분의 축산시설에서는 온도 기준을 부합시키기 위해서 쿨링패드를 많이 적용을 하고 있으며, 이에 따른 해결책이 필요할 것으로 판단된다.

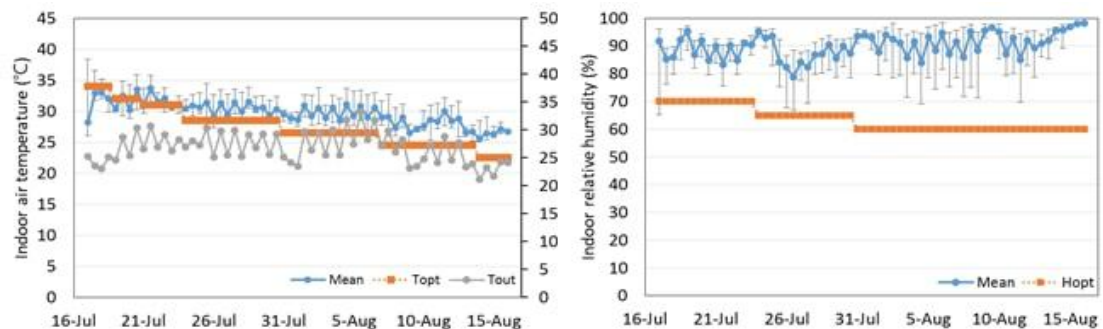


그림 3-1-10 대상 계사 5차 사육기간 (2017. 7. 15.~ 2017. 8. 15.)의 온도 및 상대습도 변화

3.1.2 비육돈사 내 온·습도 모니터링

2016년 11월 25일은 새벽에 내린 비로 인하여 해가 뜨기 전의 온도가 영하권대에 머물렀다. 그리고

아침 7시 30분 일출 직후 외부 기온이 점차적으로 증가하는 것을 확인되었으며, 오후 2시 무렵까지 일 최대 기온 11.7 °C를 형성하고 차츰 기온이 감소되었다 (그림 3-1-11). 습도의 경우에는 온도 환경과 반비례의 경향을 갖는다는 일반적인 사실과 유사하게 외기 온도가 증가하면서 외기의 상대습도는 감소하는 경향을 나타냈으며, 외기의 온도가 감소하면 습도가 증가하는 역-상관관계를 갖는 것을 확인할 수 있다. 또한 설정온도가 비육돈의 적정 생육환경온도와 비교하여 6°C 높게 설정되어있는 점을 고려하여 사료섭취량이 대상 실험농가에서 2.4 kg day⁻¹를 나타내고 이는 Quineu et al (2000)의 연구에서의 온도에 따른 비육돈의 사료섭취량 기준 (2.9 kg day⁻¹)와 비교하여 일당 0.5 kg의 사료를 덜 소비하고 있는 것으로 나타났다. 외기의 습도 환경은 그림 3-1-11에서 보는 바와 같이 새벽에 내린 비로인하여 외기 온도가 낮고 외부의 습도 또한 80 %에 가까운 상대습도를 나타냄에 따라 최소 환기가 실시되고 있는 축사에서는 외부 온도는 낮지만 높은 습도를 가진 공기와 교체되기 때문에 축사의 상대습도는 권장되는 사육 환경보다 축사 내부의 습도가 높게 형성된 것으로 판단되었다.

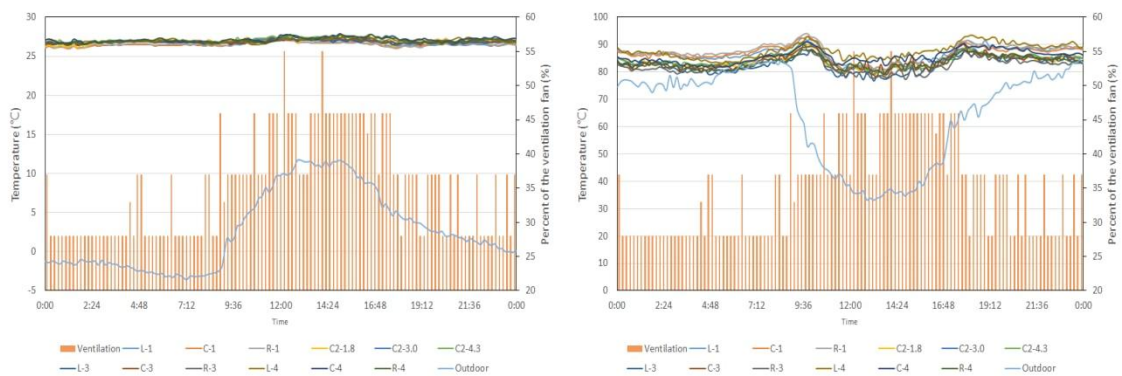


그림 3-1-11 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2016년 11월 25일)

2016년 12월 27일은 축사 외부기온이 5.5 °C정도로 비교적 안정적인 기온이 나타났다. 일출 직후 시간경과에 따라 외부의 기온이 증가하는 것과 달리 약 17시까지 외부의 온도가 5.5 °C로 일정하게 유지된 후 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 축사의 내부 기온은 높이별로 어느 정도의 차이가 발생하지만 설정온도 26°C를 기준으로 크게 벗어나지 않음을 확인할 수 있었으며, 낮은 외기온에도 불구하고 돼지에서 발산되는 발열량을 통하여서도 자체적으로 돈사 내부의 온도를 설정온도로 유지할 수 있는 것으로 판단되었다. 약 12시 30분경부터 13시 30분까지는 46마리의 비육돈 출하 작업이 이루어졌다. 이 과정에서 윈치커튼 개방에 따라 순간적으로 설정온도부터 낮게 형성되었으며, C2-3.0 (P5) 과 C2-4.3 (P6) 지점에서는 윈치커튼이 설치되어있는 높이보다 1.5 ~ 2.5m 높은 지점에서 위치하며 건물 구조 조건상 해당 지점에서는 대류현상이 비교적 크게 작용하지 못하기 때문에 윈치커튼을 개방하여도 온도 구배가 적거나 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

00시 기준 지속적으로 0.5 mm의 강수량이 발생하고 있었고, 자료시간에서 과거 12시간 내린 강수량이 12.5 mm로 외부의 강수로 인하여 외부의 상대습도는 82%정도로 형성되었으며, 20분 후 부터는 강수량이 없어짐에 따라서 외부의 습도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 일출 직후에는 축사가 위치한 지리적 특성상 주변에서 발생하는 수증기량의 증가로 인하여 상대습도가 증가하다가 이후 일사의 영향으로 감소하는 것으로 판단되었다. 또한 새벽시간에는 축사 내부의 온도를 유지하기 위하여 환기팬이 28% 정도로 간헐적으로 환기됨에 따라 외부 공기의 상대습도 감소구배보다는 크지 않지만 축사 내부에서의 상대습도도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 윈치커튼 가까이에 위치하고 있는 센서 L-1 (P1), C-1 (P2), R-1 (P3)의 경우에는 축사 내외부의 온도차이가 크게 발생함에 따라서 표면에 결로가 발생하여 포화상태에 가까운 상대습도 (100%)를 나타내는 것으로 판단되었다. 절대습도의 지표를 통하

여 지점별 수증기의 량을 비교하게 되면 가장 높은 지점은 건조공기 1 kg당 수증기를 21.6 g를 포함하고 있지만 가장 낮은 지점은 15.6 g으로 나타났다. 평균적으로 3.0 %의 지점별 변동성을 나타내고 있으며 평균적으로 1 kg의 건조공기 당 19.5 g의 수증기를 포함하고 있다. 그 결과, 사료의 섭취량은 마리당 2.5 kg을 섭취하는 것으로 나타났으며, 설정온도 (26°C)로 인하여 비육돈의 사료섭취량이 기준 섭취량인 2.9 kg과 비교하여 0.4 kg이 낮은 것으로 파악되었으며, 이로 인하여 8.2 L day⁻¹의 음수량을 섭취함에 따라 기준 요구량보다 더 많은 양의 물을 해당 농가에서는 섭취하는 것으로 확인 할 수 있었다.

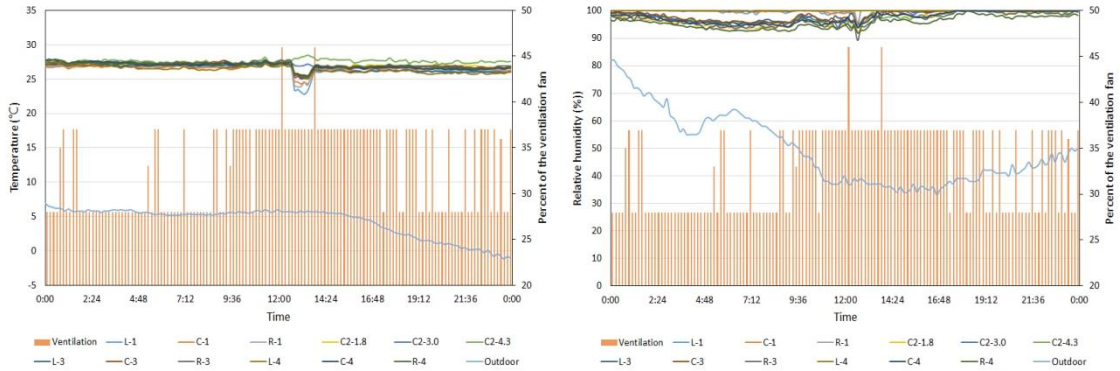


그림 3-1-11 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2016년 12월 27일)

2016년 12월 28일은 00시부터 영하의 기온을 나타냈으며, 일출 직전까지 온도가 지속적으로 떨어져 영하 6°C를 나타냈다. 새벽시간 그림 3-1-12과 같이 최소 환기가 이루어지고 비육돈의 자체 발열량으로 인하여 돈사 내부에서의 온도는 돈사의 측벽에 부착된 배기팬의 설정온도인 26°C를 유지하는 것으로 나타났다. 실험돈사에 1.8m 높이에서 설치된 센서의 온도분포는 설정온도에 크게 벗어나지 않았으며, 그 결과 온도편차가 거의 없었다. 그러나 높이별 온도 및 습도 분포를 측정하기 위하여 돈사 내부의 4.3m 높이에 설치된 센서에는 설정온도보다 약 1.5°C 높은 온도가 외부의 일사량과 관계없이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 갑작스러운 한파로 인하여 일반적으로 가장 외기온이 높다는 14시의 최고기온도 8°C에 불과하였으며, 다른 실험일과 동일하게 일 시간변화에 따른 온도분포는 유지하게 분포함을 확인할 수 있었다.

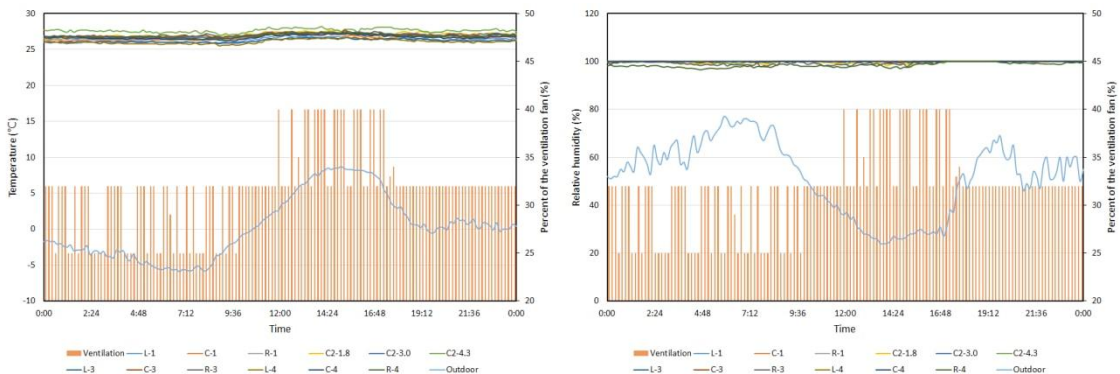


그림 3-1-12 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2016년 12월 28일)

12월 29일의 외기 온도는 평균 5°C를 나타냈으며, 일간 최대 외기온도 1.7°C, 최소 외기온 영하 4°C

로 일교차가 약 6°C정도 발생하였다. 금일의 온도 분포는 적설된 눈으로 인하여 외기 온도의 분포가 시간에 따른 변화가 거의 없었다. 그 결과 내부온도에 따라 가변식으로 작동하는 축사 내 측벽 배기팬은 비교적 안정적으로 최소환기 (32%)를 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 그 후 일사의 영향으로 순간적으로 비육돈사의 환기량이 증가함을 그림 3-1-13에 확인할 수 있으며, 측벽 배기팬이 약 40% 정도로 가동되기 직전에 돈사의 내부온도가 27.3°C로 최대 온도를 나타냈다. 그 후 하루 중 가장 온도가 낮은 14시 경에는 일정한 시간동안 환기량이 약 10% 정도 증가한 40%로 유지되고, 다시 일정하게 유지 되는 것을 확인할 수 있다. 또한 17시 경에는 환기량이 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 작업자가 출입하여 돈사 내부에서 작업하는 과정에서 돼지의 활동성이 증가함에 따라 발열되는 양이 증가함에 따라 돈사 내부의 온도가 증가한 것으로 판단된다. 돈사 내부의 온도 분포에 있어서 설치된 센서의 지점별 편차는 평균적으로 0.5°C를 나타냈으며, 시간변화에 따른 편차도 크게 증가 하지 않았으며, 최대 편차를 나타낸 시점은 오전 11시 30분경에 0.6°C의 지점별 온도 편차를 나타냈으며, 가장 낮은 편차 또한 0.4°C로 크게 차이가 나타나지 않았다. 이는 비교적 외부 기온이 시간 변화에 따라 균일한 분포를 나타내는 것과 비육돈사 내부에 설치된 입기덕트의 영향으로 최소환기를 하는 돈사 내부의 편차는 크게 발생하지 않는 것으로 사료된다. 돈사 외부의 습도는 최대 68%, 최소 26%로 시간에 따라 습도환경이 변화되었다. 하동 실험 돈사 주변의 평균 외기 습도의 경우에는 12월 29일 전시간에 걸쳐 평균적으로 41%를 나타내고 있다. 그러나 돈사 내부의 습도는 평균적으로 99.7%를 나타냈으며, 대다수의 지점에서 100%의 상대습도를 나타냈다. 이는 비육돈이 섭취하는 물, 분뇨 등에서 발생하는 잠열의 영향과 최소 환기를 함에 따라 내부의 공기가 외부의 낮은 습도를 갖는 공기와 교환이 잘 이루어지지 않는 것으로 판단된다. 따라서 습도의 지점별 편차는 1%정도로 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 1% 미만의 작은 상대습도의 편차를 나타내는 지점은 측벽에 설치된 배기팬에 가까이 위치한 지점에 나타났다.

절대습도의 지표로 통하여 지점별 수증기량을 비교하게 되면 가장 높은 지점은 건조공기 1 kg당 수증기를 20.2 g를 포함하고 있지만 가장 낮은 지점은 19.2 g으로 나타났다. 평균적으로 2.5 %의 지점별 변동성을 나타내고 있으며 평균적으로 1 kg의 건조공기 당 19.7 g의 수증기를 포함하고 있다. 사료의 섭취량은 마리당 2.5 kg을 섭취하는 것으로 나타났으며, 설정온도 (26°C)로 인하여 비육돈의 사료섭취량이 기준 섭취량인 2.9 kg과 비교하여 0.4 kg이 낮은 것으로 파악되었으며, 이로 인하여 8.1 L day⁻¹의 음수량을 섭취함에 따라 기준 요구량보다 더 많은 양의 물을 해당 농가에서는 섭취하는 것으로 확인할 수 있었다.

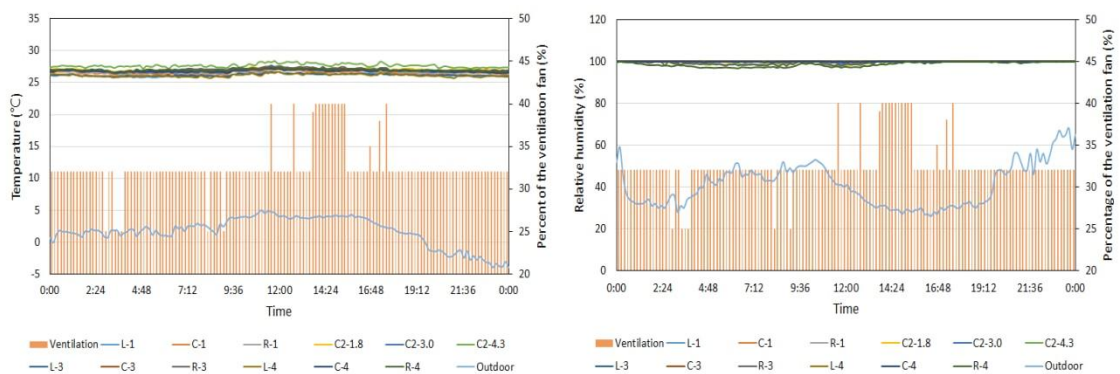


그림 3-1-13 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2016년 12월 29일)

2016년 12월 29일과 달리 12월 30일은 새벽시간 영하 6.4°C의 차가운 외기온과 일사량에 의한 온도의 증가를 고려하여도 최대온도는 7.7°C를 나타냈다. 최대-최소 외기온 차는 약 14°C로 일교차가 상당히 크게 발생하였다. 축사 내 측벽 배기팬이 비교적 안정적으로 최소환기 (32%)를 유지하던 29일과

달리 외기온의 영향으로 인하여 돈방 내부의 온도가 감소함에 따라 환기팬이 비례제어 되고 있음을 알 수 있다. 9시와 17시경에는 환기량이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 돈사 내부의 온도 분포에 있어서 설치된 센서의 지점별 편차는 평균적으로 0.4°C를 나타냈으며 시간변화에 따른 편차도 크게 증가하지 않았으며, 최대 편차를 나타낸 시점은 오전 12시경에 0.6°C의 지점별 온도 편차를 나타냈으며, 가장 낮은 편차 또한 0.4°C로 크게 차이가 나타나지 않았다. 이는 비교적 외부 기온이 시간 변화에 따라 균일한 분포를 나타내는 것과 비육돈사 내부에 설치된 입기덕트의 영향으로 최소환기를 하는 돈사 내부의 편차는 크게 발생하지 않는 것으로 사료된다. 돈사 외부의 습도는 최대 71%, 최소 18%로 시간에 따라 습도환경이 변화되었다. 하동 실험 돈사 주변의 평균 외기 습도의 경우에는 12월 30일 전시간에 걸쳐 평균적으로 49%를 나타내고 있다. 그러나 돈사 내부의 습도는 평균적으로 99.9%를 나타냈으며, 대다수의 지점에서는 100%의 상대습도를 나타냈다. 이는 비육돈이 섭취하는 물, 분뇨 등에서 발생하는 잠열의 영향과 최소 환기를 함에 따라 내부의 공기가 외부의 낮은 습도를 갖는 공기와 교환이 잘 이루어지지 않는 것으로 판단된다. 따라서 습도의 지점별 편차는 1%정도로 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 1% 미만의 작은 상대습도의 편차를 나타내는 지점은 측벽에 설치된 배기팬에 가까이 위치한 지점에 나타났다 (그림 3-1-14). 외부의 습도는 평균적으로 1kg의 건조공기에 1.5g의 수증기의 양을 포함하고 있을 정도로 비교적 건조한 날씨를 나타냈다. 오후 12시 30분 경에는 온도의 증가로 인하여 공기 중에 포함할 수 있는 최대 수증기양이 증가함에 따라 가장 높은 외부 수증기양을 나타냈다. 대조적으로 일출 직전인 오전 7시 30분경에는 포함된 수증기의 양이 가장 낮은 1.0g을 나타냈다. 비육돈사 내부에서의 평균적인 절대습도는 19.7g kg(da)⁻¹을 나타냈으며, 비육돈사 내부의 온도가 일사의 영향으로 높아진 시점인 오후 12시~ 2시경 가장 높은 절대습도를 나타냈다. 가장 낮은 절대습도의 경우에는 일출 직전인 오전 7시 30분경에 일사의 영향이 없기 때문에 19.3g의 수증기를 포함하였다.

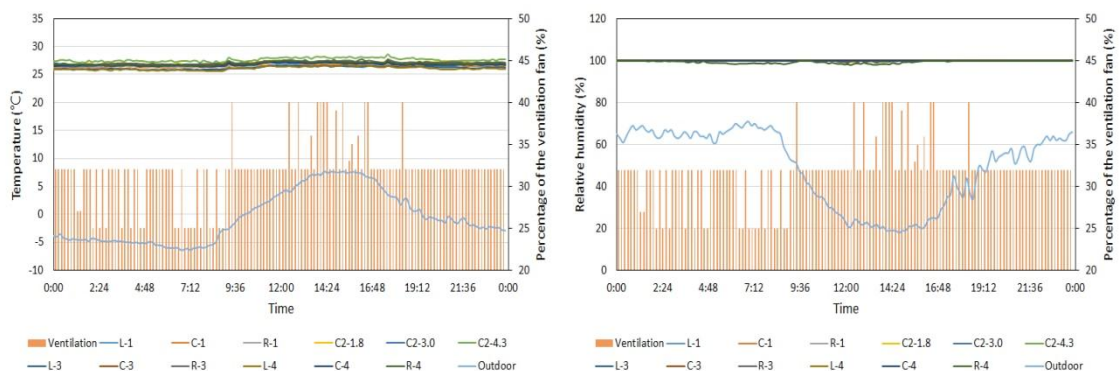


그림 3-1-14 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2016년 12월 30일)

2016년 12월 31일의 일 평균 외기 온도는 1.1°C를 나타냈으며, 일 최대 외기 온도 9.8°C, 최소 외기 온도는 영하 5.3°C로 15.1°C의 높은 일교차를 나타냈다. 일교차는 비교적 높게 났으나 익일 (2016년 12월 30일)과 비교하여 상대적으로 온화한 날씨를 나타냈다. 그 결과, 비육돈사 내부의 일 평균 온도는 26.8°C로 나타났으며, 일사의 영향으로 오후 1시 30분경에는 가장 높은 전체 지점 평균온도 27.3°C를 나타냈다. 대조적으로 일출 직전에는 일사가 없으며, 외부의 영하 5.3°C의 온도의 영향으로 돈사 내부에는 최소 환기를 실시함에도 공기의 교체가 발생하기 때문에 26.4°C의 전체 지점의 일 평균 최소 온도를 나타냈다. 비육돈사 내부의 온도의 경우에는 내외부의 온도차가 가장 크게 발생하고, 일출의 영향으로 점차적으로 환기량이 증가하는 시점인 오전 9시경에 지점별 온도편차가 가장 높은 0.6°C를 나타냈다. 반대로, 일몰직후에 실내외 온도 차는 증가하지만 일사의 영향이 전혀 없기 때문에 최소 환기에 따른 공기 교체가 적기 때문에 오후 9시경에는 가장 낮은 지점별 온도 편차 0.4°C를 나타냈다.

외부 공기의 상대습도는 일평균 61.3%를 나타냈으며, 일출 직전에 하루 중 가장 높은 80%를 나타냈다. 반대로 일사의 영향으로 인하여 상대적으로 높아진 온도에서 상대습도는 감소하여 최소 상대습도 35%를 나타냈다. 그러나 비육돈사 내부의 평균 상대습도는 100%로 실제수증기압이 해당 온도에서의 포화수증기압과 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 3-1-15와 같이 일사의 영향으로 인하여 일출직후에 지붕면에 가까이 설치된 지점별 상대습도가 온도의 증가로 인하여 공기가 포함할 수 있는 수증기의 양이 증가하면서 상대습도가 미소하게 감소하였다. 그 결과, 0.6%의 지점별 편차가 발생하였다. 금일의 외부의 습도는 평균적으로 1kg의 건조공기에 2.2g의 수증기의 양을 포함하고 있을 정도로 비교적 건조한 날씨를 나타냈다. 오후 12시 30분경에는 온도의 증가로 인하여 공기 중에 포함할 수 있는 최대 수증기양이 증가함에 따라 가장 높은 외부 수증기양을 나타냈다. 익일과 비교하여 유사한 온도 및 습도 분포를 나타내기 때문에 비육돈사 내부에서의 평균적인 절대습도는 익일과 유사한 19.7g kg(da)⁻¹을 나타냈으며, 비육돈사 내부의 온도가 일사의 영향으로 높아진 시점인 오후 12시~ 2시경 가장 높은 절대습도 (20.3g kg(da)⁻¹)를 나타냈다. 대조적으로, 비육돈사 내부에 추가적인 외부 열원이 존재하지 않고, 비육돈사 내외부의 온도 차가 크게 발생하는 새벽 1시 30분경에 가장 낮은 절대습도 (19.3g)와 이의 편차 (0.4g)을 나타냈다.

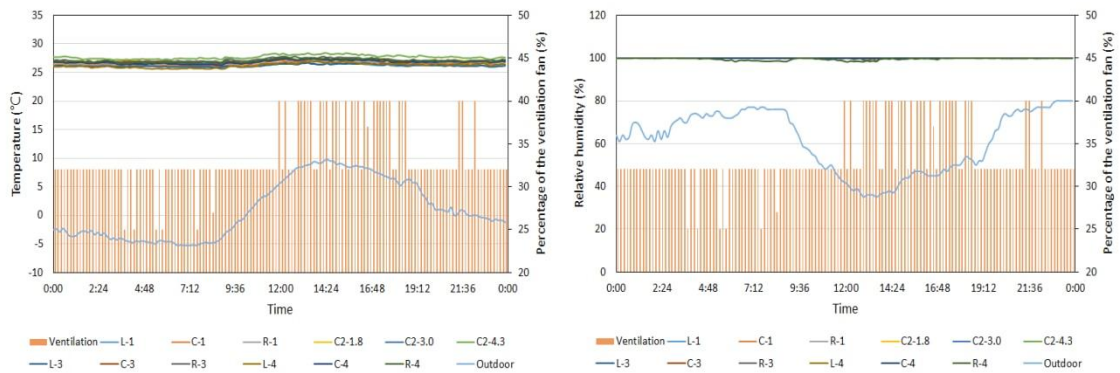


그림 3-1-15 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2016년 12월 31일)

2017년 01월 01일은 하동 바른양돈의 외부 기온은 일 평균 2.3°C를 나타냈으며, 일간 최대 11.7°C, 최소 영하 3.7°C였다. 일간 가장 낮은 외부 기온은 일출 직전에 나타났으며, 일몰 직후부터 일출 직전까지 지속적으로 온도가 감소하였다. 반대로, 일출 직후에는 일사의 영향으로 인하여 외부의 온도가 꾸준히 증가하고 일몰이 가까워질수록 일사량 및 강도가 감소함에 따라 외부의 기온이 감소하였다. 돈사 내부의 온도를 비육돈의 사육 적정온도로 유지하기 위해서는 외기의 2.3°C보다 약 18°C 이상의 높은 열원이 공급되어야 한다. 따라서 비육돈사 내부에서는 추가적인 발열을 위한 기기가 존재하지 않고 비육돈의 자체 발열원으로 돈사 내부의 열환경을 유지하기 때문에 최소 환기를 실시하였다. 5°C 이하가 되는 일몰 직후부터 일출 직전까지는 일반적으로 비교적 일정한 배기팬의 성능을 나타내는 것으로 나타났다. 그러나 배기팬의 출력 성능은 약 32% 정도로 비육돈의 자체 발열원이 설정온도인 26°C보다 높게 형성되어 비육돈사 내부의 온도를 26°C정도로 유지하기 위하여 최소환기 (10%)로 설정된 기준치보다 3배 이상 크게 작동하였다. 따라서 돈사 내부의 온도는 평균적으로 26.8°C를 나타냈으며, 일사가 강하게 영향을 미치는 오후 1시에는 모든 지점별 평균이 최대값을 나타냈다. 대조적으로 외부의 온도가 낮고 윈치커튼의 틈으로 유입되는 침기에 의하여 일출 직전에 가장 모든 지점별 평균이 최소값을 나타냈다. 외부 공기의 상대습도는 일평균 71.8%를 나타냈으며, 일출 직전에 하루 중 가장 높은 85%를 나타냈다. 반대로 일사의 영향으로 인하여 상대적으로 높아진 온도에서 상대습도는 감소하여 최소 상대습도 40%를 나타냈다. 그러나 비육돈사 내부의 평균 상대습도는 100%로 실제수증기압이 해당 온도에서의

포화수증기압과 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 3-1-16와 같이 일사의 영향으로 인하여 일출직후에 지붕면에 가까이 설치된 지점별 상대습도가 온도의 증가로 인하여 공기가 포함할 수 있는 수증기의 양이 증가여 비육돈사 내부의 상대습도가 일부 지점에서 미소하게 감소하나 거의 영향이 없었다. 비육돈사 내부의 온도가 갑작스럽게 변화하여 비육돈의 감기 등과 관련한 질병에 노출되지 않게 하기 위하여 최소 환기를 실시하고 있지만, 설정온도가 26°C로 높게 설정되어있기 때문에 비육돈에서 자체적으로 체열 발산량이 많아 축벽의 배기팬이 32%정도로 가동되었다. 그리고 일사량의 영향으로 포화수증기압이 증가하는 일출직후부터 일몰직전까지는 상대적으로 작게 형성되었다. 상대습도의 경우에는 온도 변화에 영향을 받아 10분 평균 데이터에 있어서 지점별 상대습도 편차가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 이를 절대습도로 계산하여 지점별 편차를 분석하고자 하였다. 일평균 비육돈사 내부에서의 수증기량은 $19.8\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 로 나타났으며, 일사량과 외부의 기온이 증가하는 오후 1시경에서 공기가 포함할 수 있는 수증기의 양이 증가하면서 전체 지점의 평균값의 최대는 $20.4\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 로 나타났다. 대조적으로 일사량이 거의 없고 외부의 온도가 낮은 오전 8시 경에 가장 낮은 절대 습도 $19.1\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 를 나타냈다. 지점별로는 윈치커튼에 가까이 위치한 지점에서 침기의 영향으로 온도가 낮기 때문에 공기 중 포함할 수 있는 수증기의 양이 감소하기 때문에 평균 19.2g의 수증기량을 나타냈으며, 윈치커튼의 반대쪽에 위치한 축벽 배기팬으로 갈수록 공간상 절대습도 분포가 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 높이별 절대습도의 경우에는 1.8m와 3.0m 에서의 절대습도는 0.1g의 매우 적은 수증기량의 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 3.0m 지점에서 외부의 공기가 1.8m높이에서보다 입기덕트에서 유입되는 공기의 밀도차에 의하여 발생한 것으로 판단된다. 그리고 4.3m 높이에서는 수증기량이 20.9g으로 나타났으며 이는 부력의 영향으로 비육돈사에서 가장 높은 동고 주변에서는 부력의 영향으로 상대적으로 아래 공간 보다 온도가 높기 때문에 공기 중에 포함 할 수 있는 수증기량이 증가하기 때문이다.

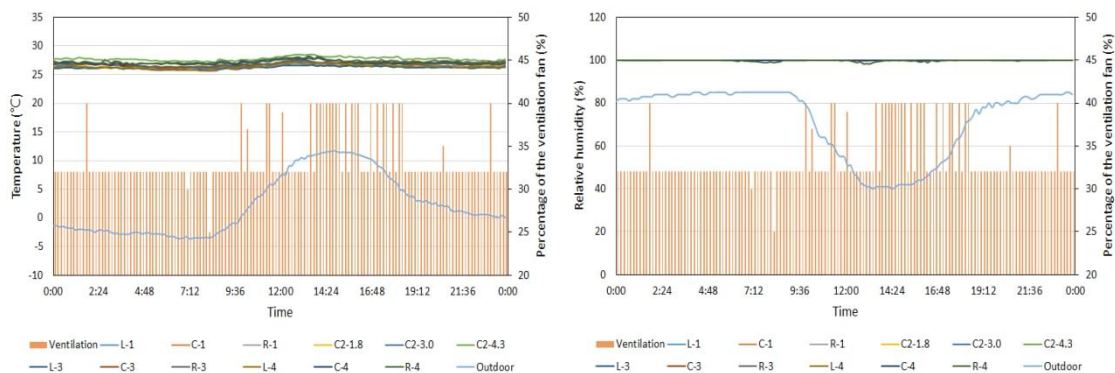


그림 3-1-16 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 1일)

2017년 1월 2일은 전날 (1월 1일)과 비교하여 일 평균 온도가 약 4°C증가하여 평균 6°C의 외기 온도를 나타냈다. 최대와 최소 외기온도는 각각 14.1°C와 영하 0.6°C를 나타냈다. 금일은 새벽에도 비교적 온화한 0°C이상의 온도분포를 나타냈으며, 일출 이후에 점차적으로 외기 온도가 증가하였으며, 일사량이 감소하기 시작하는 오후 2시경 이후로 외기온도가 감소하였다. 비교적 온화했던 외기 온도와 일사량의 영향으로 비육돈사 내부의 최대 평균 온도는 오후 12시 30분경에 27.6°C로 가장 높게 형성되었으며, 일출 직전 오전 8시에는 가장 낮은 축사 내 온도인 26.6°C를 나타냈다. 설정온도가 26°C로 설정되어 있고 평균온도가 26.9°C로 높게 형성되어있었기 때문에 축벽의 배기팬은 32-40%정도로 운영되었다. 지점별 온도분포의 경우에는 윈치커튼에 가까이 위치한 복도측 지점에서 평균적으로 26.5°C를 나타냈으며, 축벽배기팬 근처가 상대적으로 침기의 영향이 적고, 축고가 낮기 때문에 0.4°C 이상의 온도차가 발생하였다. 또한 높이별 온도 분포에 있어서 1.8m 높이에서 온도는 27.1°C로 C-3 (P3)와 유사하

게 나타났지만 동고 주변 4.3m의 지점에서의 온도는 27.8°C로 유속이 느리기 때문에 대류보다는 부력의 영향에 의하여 0.7°C 높게 형성되는 것으로 판단되었다. 외부 공기의 상대습도는 일평균 68.8%를 나타냈으며, 일출 직전에 하루 중 가장 높은 86%를 나타냈다. 반대로 일사의 영향으로 인하여 상대적으로 높아진 온도에서 상대습도는 감소하여 최소 상대습도 41%를 나타냈다. 그러나 비육돈사 내부의 평균 상대습도는 100%로 실제수증기압이 해당 온도에서의 포화수증기압과 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 3-1-17과 같이 일사의 영향으로 인하여 일출직후에 지붕면에 가까이 설치된 지점별 상대습도가 온도의 증가로 인하여 공기가 포함할 수 있는 수증기의 양이 증가하여 비육돈사 내부의 상대습도가 일부 지점에서 미소하게 감소하였다.

비육돈사 내부의 온도가 갑작스럽게 변화하여 비육돈의 감기 등과 관련한 질병에 노출되지 않게 하기 위하여 최소 환기를 실시하고 있지만, 설정온도가 26°C로 높게 설정되어있기 때문에 비육돈에서 자체적으로 체열 발산량이 많아 측벽배기팬이 32-40%정도로 가동되었다. 그리고 일사량의 영향으로 포화수증기압이 증가하는 일출직후부터 일몰직전까지는 상대적으로 작게 형성되었다. 외부 습도는 평균적으로 1kg의 건조공기에 3.5g정도의 수증기의 양을 포함하고 있을 정도로 상대적으로 습한 날씨를 나타냈다. 오후 12시 30분경에는 온도의 증가로 인하여 공기 중에 포함할 수 있는 최대 수증기양이 증가함에 따라 가장 높은 외부 수증기양 (4.0g)을 나타냈다. 익일과 비교하여 상대적으로 높은 온도 및 습도 분포를 나타내기 때문에 비육돈사 내부에서의 평균적인 절대습도는 익일보다 건조공기 1kg당 0.2g의 수증기량을 더 갖는 것으로 나타났다. 비육돈사 내부의 온도가 일사의 영향으로 높아진 시점인 오후 12시~ 1시 경 가장 높은 절대습도 (20.5g kg(da)⁻¹)를 나타냈다. 대조적으로, 비육돈사 내부에 추가적인 외부 열원이 존재하지 않고, 비육돈사 내외부의 온도 차가 크게 발생하는 일출직전에 가장 낮은 절대습도 (19.5g)을 나타냈다.

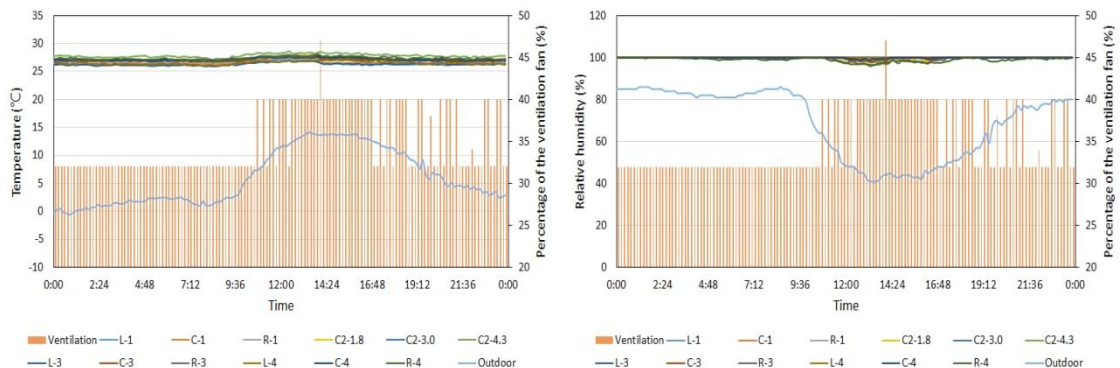


그림 3-1-17 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 2일)

2016년 01월 16일은 일 평균 외기 온도는 영하 2.2°C를 나타냈으며, 일 최대 외기 온도 7.5°C, 최소 외기 온도는 영하 8.1°C로 15.6°C의 높은 일교차를 나타냈다. 비육돈사 내부의 일 평균 온도는 26.3°C로 그러나 출하 작업으로 인하여 오후 3시경부터 윈치커튼을 통하여 이루어진 환기로 인하여 비육돈사 내부의 온도가 약 24°C까지 감소하였다. 그러나 C-2-3.0 (P5)과 C-2-4.3 (P6)의 경우에는 윈치커튼이 설치된 높이의 영향으로 인하여 자연대류가 해당 지점에는 영향을 거의 미치지 않기 때문에 그림 3-1-18과 같이 환기를 실시함에도 불구하고 온도 변화가 작았다. 상대습도는 일평균 45.3%를 나타냈으며, 일출 직전에 하루 중 가장 높은 66%를 나타냈다. 반대로 일사의 영향으로 인하여 상대적으로 높아진 온도에서 상대습도는 감소하여 최소 상대습도 13%를 나타냈으며, 매우 건조한 외기 습도환경을 나타냈다. 2017년 1월 16일의 경우에는 출하작업 및 내부의 작업으로 인하여 13시경부터 윈치커튼을 개방하였으며 그 결과 1.8m 높이에서의 지점별 습도환경은 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 C-2-3.0

(P5)과 C-2-4.3 (P6)의 경우에는 환기와 관계없이 거의 일정한 온도 분포를 나타냈다. 이는 자연대류의 영향을 거의 받지 못한 것으로 판단되며, 해당 지점에서는 밀도차에 의한 공기 교환 및 전도에 의한 에너지 교환이 이루어 질것으로 사료된다. 절대습도의 경우에는 일평균 지점별 평균 절대습도는 $19.1\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 를 나타냈다. 오후 12시 30분경에는 일사의 영향으로 인하여 비육돈사 내부에서의 절대습도는 $19.8\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 으로 평균적으로 $0.7\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 가 증가하는 것으로 나타났다. 출하작업이 이루어졌던, 오후 3시 30분경에는 상대적으로 낮은 온도와 습도를 갖는 외부공기가 유입됨에 따라서 해당 시점에서의 지점별 평균온도가 $16.9\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 으로 가장 낮게 형성되었다. 그러나 C-2-3.0 (P5)과 C-2-4.3 (P6)의 경우에는 윈치커튼에서 유입되는 기류가 특이한 구조특성을 나타내는 실험 비육돈사에의 동고 높이를 고려하였을 때, 대류효과가 적은 것으로 판단되었다. 또한 평균적으로 윈치커튼에 가까이 위치한 지점에서는 $18.4\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 의 낮은 수증기양이 건조공기 1kg 에 포함되어있는 것으로 나타났으며, 윈치커튼으로부터 반대 측벽에 위치한 측벽배기팬에 가까이 갈수록 지점별 절대습도는 $0.7\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 씩 증가하는 것으로 나타났다.

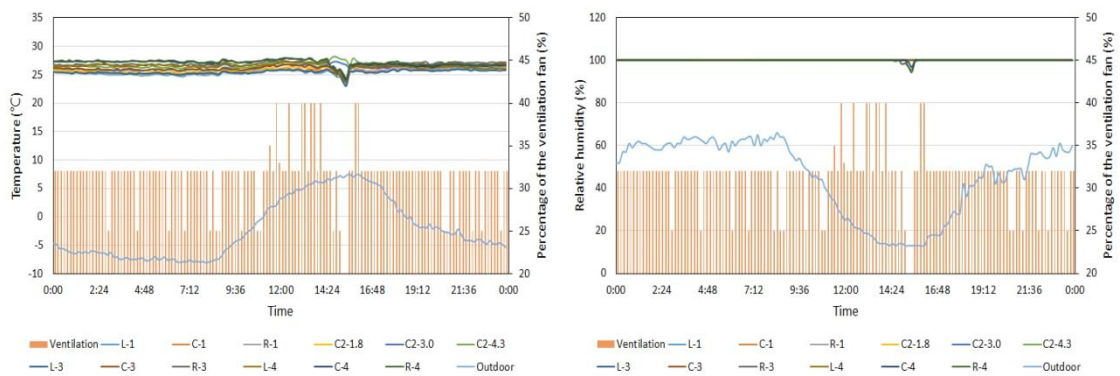


그림 3-1-18 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 16일)

2016년 01월 17일은 일평균 외기 온도는 영하 0.7°C 를 나타냈으며, 최대온도는 일사의 영향으로 일반적으로 가장 온도가 높은 오후 2시경에 8.2°C 에 도달하였으며 최소온도는 영하 7.2°C 로 일출직전에 나타났다. 하루의 일교차는 15.4°C 로 비교적 높은 일교차를 나타냈다. 낮은 외기온도에도 비육돈사 내부의 온도환경에 따라서 가변식으로 32% 미만의 환기가 운영과 비육돈사의 발열량의 영향으로 해가 중천에 위치하기 이전에는 온도편차가 0.4°C 정도로 상대적으로 적게 형성되었다. 그러나 일사의 영향과 벽체온도 증가 등의 원인으로 인하여 12시 이후에 돈사 내부의 지역적 편차가 0.7°C 정도로 상대적으로 크게 발생하였다. 그러나 일사량이 감소하고 일몰 무렵에는 다시 온도편차가 감소하는 경향을 나타냈다 (그림 3-1-19). 상대습도는 일평균 50.1%를 나타냈으며, 일출 직전에 하루 중 가장 높은 69%를 나타냈다. 반대로 일사의 영향으로 인하여 상대적으로 높아진 온도에서 상대습도는 감소하여 최소 상대습도 18%를 나타냈다. 2017년 1월 17일의 경우에는 출하작업 및 내부의 작업 일정이 없고, 상시 점검 수준의 비육돈 관리가 이루어지기 때문에 비육돈사 내외부의 공기교환이 많지 않기 때문에 상대습도의 변화가 적었으며, 돈사 내부에서 발생하는 수증기양 보다 제거되는 수증기의 양이 많기 때문에 비육돈사 내부에서의 상대습도는 일간 지속적으로 100%의 상대습도를 나타냈다. 절대습도는 전 지점별 일 평균 최대는 $19.9\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 으로 나타났으며, 평균적으로 $19.5\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 으로 나타났다. 시간과 거의 관계없이 윈치커튼에 가까이 위치한 지점에 있어서 절대습도는 평균적으로 $18.9\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 으로 비육돈사 내부의 평균인 $19.8\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 보다 $0.9\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 의 낮은 수증기양을 가졌다. 이는 침기로 인하여 주변공기의 수증기를 포함할 수 있는 양이 감소하기 때문으로 판단되며, 공기에서 포함할 수 있는 수증기 양이 감소한 만큼 해당지점 근처에서의 구조물 표면에서의 응결이 발생할 것으로 판단된다. 일사의 영향으로

하루 중 가장 온도가 높은 12시경부터 오후 4시까지의 절대습도 분포의 편차가 크게 발생하는 이유는 앞서 설명한바와 같이 비육돈사 내부에서 온도의 편차 발생에 따른 공기가 포함할 수 있는 수증기 양이 감소하고 측벽배기팬의 환기 및 주변 구조물 및 비육돈의 음수 및 분뇨에서의 잠열량을 통한 수증기양 증가로 인한 증·감소가 반복적으로 이루어지기 때문으로 판단된다.

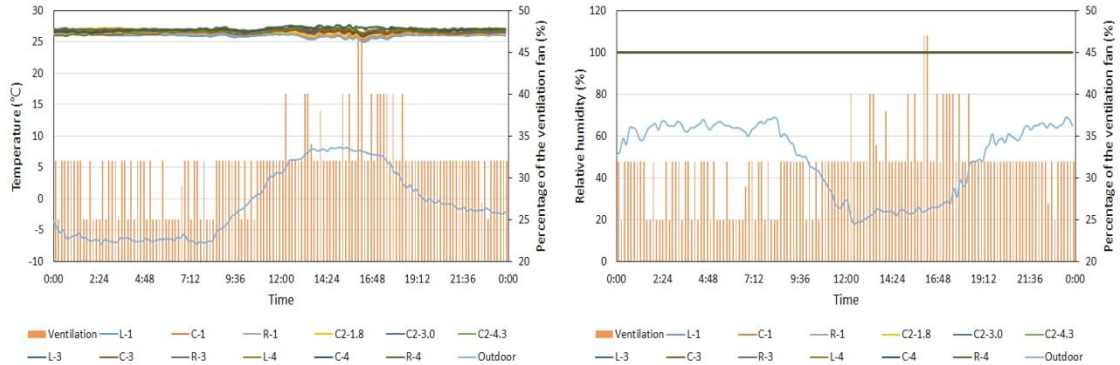


그림 3-1-19 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 17일)

2017년 1월 18일 일평균 온도는 2.2°C를 나타냈으며, 최대 9.5°C, 최소 영하 3.4°C를 나타냄에 따라 일교차가 약 13°C가 나타났다. 일평균의 전체 지점별 평균 온도는 26.4°C를 나타냈으며 설정온도 26°C로 설정된 제어시스템으로 인하여 최대 평균 온도 27.2°C로 비교적 설정 온도 범위를 크게 벗어나지는 않았다. 그러나 최소 평균온도의 경우에는 22.4°C로 낮게 형성되는 것을 확인할 수 있었다 (그림 3-1-20). 이는 오전 8시경부터 시작된 출하 작업으로 인하여 작업의 편의성을 고려하여 윈치커튼을 개방하였기 때문이다. 해당 시간에는 설정온도 기준치인 26°C보다 비육돈사 내부의 온도가 더 낮게 형성되기 때문에 제어시스템에 설정되어있는 최소 환기 기준인 10%로 가변식 환기팬이 작동하였으며, 출하 작업이 끝난 직후 윈치커튼 폐쇄에 따라 외기온도의 영향과 돈사 내부의 비육돈의 발열량으로 인하여 다시 돈사 내부의 온도가 출하 작업 이전과 유사하게 형성되었다. 일평균 상대습도는 52.9%를 나타냈으며, 최대 74, 최소 29%를 나타냈다. 그러나 돈사 내부의 상대습도의 경우에는 비육돈의 감기로 인한 재채기 및 질병 발생을 예방하기 위하여 최소환기를 실시하고 있다. 따라서 비육돈사 내부에서는 비육돈의 잠열량 및 수분 증발량 등으로 인하여 상대습도가 높게 형성되었다. 그러나 당일 오전 8시부터 출하적으로 인하여 윈치커튼을 개방하였음에도 불구하고 상대습도의 경우에는 출하 작업과 관계없이 상대습도가 거의 100%에 가깝게 형성되었다. 이는 윈치커튼을 개방하였음에도 불구하고 돈사내부의 상대습도가 높고 온도가 낮아짐에 따라 공기가 포함할 수 있는 공기의 양이 감소함에 따라 이러한 현상이 발생한 것으로 판단되며, 온도감소에 따른 공기가 포함할 수 있는 수증기양이 감소함에 따른 응결 발생이 예상된다. 온도에 따라 공기가 포함할 수 있는 수증기의 양이 달라짐에 따라 해당 온도 및 상대습도 조건에서의 절대습도를 분석하였다. 설정온도와 유사한 온도인 26°C정도로 돈사내부의 온도가 유지 될 경우에는 약 20g kg(da)⁻¹의 수증기를 갖는 것을 확인할 수 있었으며, 출하작업을 위하여 윈치커튼을 개방함에 따라 13.8g kg(da)⁻¹까지 감소하였다. 그러나 C2-3.0 (P5)과 4.3 (P6)의 경우에는 윈치커튼이 설치되어 개방되는 물리적인 위치로 인하여 대표가 충분히 발생하지 않기 때문에 같은 높이 (1.8m)에 설치된 측점보다 비교적 높은 절대습도를 나타냈으며 3.0m 높이 보다는 4.3m 높이에서의 절대습도가 높게 형성되었다. 출하작업 이후에는 윈치커튼을 폐쇄함에 따라 초기에는 다소 낮은 절대습도를 나타냄에도 불구하고 최소 환기와 비육돈 자체 잠열량으로 인하여 다시 증가하는 것으로 나타났으며, C-2-4.3 (P6)의 경우에는 부력의 영향으로 상대적으로 많이 수증기를 포함한 공기가 분포하기 때문에 절대습도가 다른 지점별 절대습도와 비교하여 높은 경향을 나타냈으며, 윈치커튼에 가까이 위치하고 있

는 지점에서는 침기의 영향으로 비육돈사 내측과 비교하여 낮은 절대습도를 나타냈다.

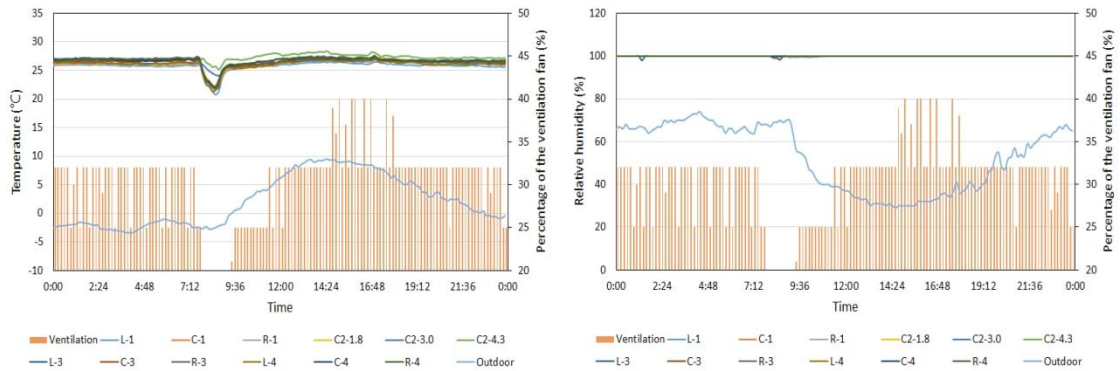


그림 3-1-20 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 18일)

2016년 1월 19일은 실험돈사의 일평균 온도는 0.7°C를 나타냈으며, 최대와 최소 외부온도는 각각 9.8, 영하 5.3°C 비교적 큰 일교차를 나타냈다. 일교차 및 평균 온도가 크게 발생함에 불구하고 돈사 내부의 온도는 평균적으로 26.6°C로 형성되는 것을 확인 할 수 있었으며, 최대 일평균 온도는 27.2°C, 최소 26.2°C를 나타냈다. 일사가 없으며, 낮은 외기조건으로 인하여 일출이전 시간에는 환기량이 비교적 많지 않은 25%정도로 유지되었지만 일출 직후에는 일사의 영향으로 외기 온도 및 비육돈사의 벽체 온도 등의 증가로 인하여 돈사 내부의 열용량이 증가함에 따라 가변식 환기팬의 배기성능 또한 32% 또는 40%정도로 증가하였다. 돈사 내부의 온도편차의 경우에는 일출 직전 및 일몰 이후의 시점에서 지점별 온도 편차가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 일출직후에는 설정온도보다 높은 온도로 비육돈사 내부가 유지되지만 편차는 적은 경향을 나타냈다. 외기 상대습도의 경우에는 00시를 기준으로 일출직전까지 지속적으로 증가하여 최대 79%를 나타냈으며, 일출 직후에는 일사의 영향으로 상대습도가 가파르게 감소하는 것을 일수 있다. 하루 중 일사량의 영향으로 가장 온도가 높은 시간대인 오후 2시경에는 상대습도가 가장 낮게 형성되었다. 또한 일사량이 감소하고 일몰직후시점에는 점차적으로 상대습도가 증가하였다 (그림 3-1-21). 외기의 상대습도와 관계없이 온도를 기반으로 가변식으로 환기량이 제어되고 있고, 설정온도 기준치가 26°C로 권장하는 사육적정온도 (21°C)보다 높게 형성되어 때문에 비육돈 및 돈사 내부에서의 수분발생과 관련한 잠열량이 증가하여 상대습도가 포화상대습도를 나타냈다. 절대습도 값을 통하여 비육돈사 내부의 습도환경을 분석한 결과, 원치커튼 주변의 지점별 습도의 경우에는 19.0g kg(da)⁻¹로 건조 공기 1kg당 19.0g의 수증기량을 가지는 것으로 나타났다. 측벽 배기팬이 위치한 내측으로 갈수록 절대습도가 높게 형성되는 것을 확인할 수 있었으며, 이 때, 내측의 평균 절대습도의 경우에는 19.6g kg(da)⁻¹으로 원치커튼과 비교하여 0.6g kg(da)⁻¹가 많은 수증기량을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 상대적으로 건조하고 낮은 습도환경을 갖는 외부의 공기가 원치커튼의 틈새로 유입됨에 따라서 원치커튼에 가까이 위치한 1계열의 지점에서의 절대습도가 낮게 형성되는 것으로 판단된다. 또한 침기의 영향으로 인하여 이슬점 온도가 낮아짐에 따라 원치커튼에 가까이 위치한 입기덕트, 급이기 등의 구조물에 응결이 발생한 것으로 판단된다.

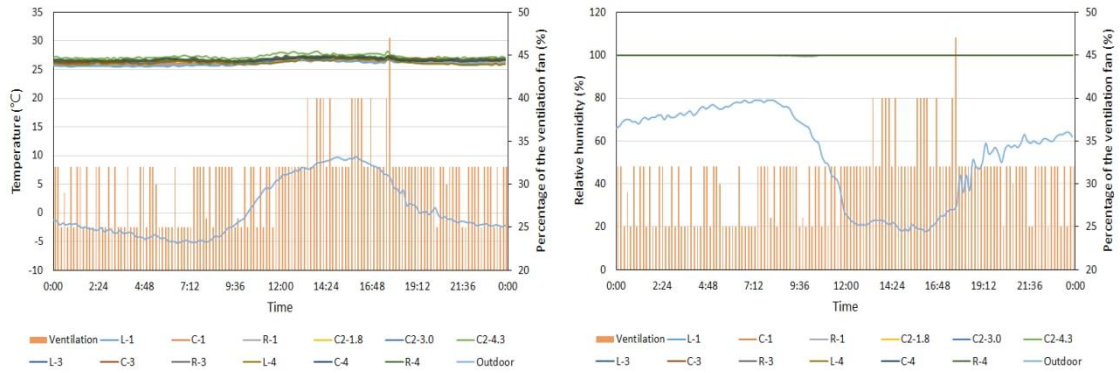


그림 3-1-21 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 19일)

2016년 1월 20일 일평균의 온도는 0.5°C 를 나타냈으며, 최대 3.2°C , 최소 영하 2.6°C 의 온도를 나타냈다. 일교차는 비교적 적은 5.6°C 로 나타났다. 최대 온도가 3.2°C 정도로 낮은 온도임에도 불구하고 비육돈사 내부에는 비육돈의 자체 발열량으로 인하여 하루 평균온도는 26.6°C 를 나타냈으며, 최대 온도는 27.0°C , 최소는 26.3°C 의 온도 분포를 나타냈다. 설정온도가 26°C 임에도 불구하고 온도에 따라 가변식 제어를 따르기 때문에 가변식 환기팬의 성능이 25~32% 범위로 형성되었다. 따라서 돈사 내부에서의 일 최대 온도편차는 0.6°C , 최소 편차는 0.4°C 를 나타냈다. 지역적 온도분포에 있어서는 침기의 영향으로 인하여 윈치커튼이 위치하고 있는 복도측 지점들에서 내측의 지점별 온도보다는 평균적으로 0.7°C 적은 약 26.1°C 정도의 분포를 나타냈으며, 돈사 내 중앙과 배기팬측의 경우에는 크게 온도차가 발생하지 않았으며, 26.8°C 정도의 온도가 형성됨을 알 수 있었다. 일평균 외부 상대습도의 경우에는 51%를 나타냈으며, 일출 무렵에 75%로 하루 중 가장 높은 상대습도를 나타냈다. 일사의 영향으로 오후 2~3시경에는 가장 낮은 외기 상대습도를 나타냈다 (그림 3-1-22). 외부가 낮은 상대습도를 나타냄에도 불구하고 비육돈사 내부에는 최소 환기를 함에 따라 비육돈사 내부의 상대습도의 감소에는 영향을 거의 주지 못하는 것으로 나타났으며, 외부의 공기와 비육돈사 내부의 공기 교환량이 적고, 비육돈, 물, 분뇨 등에서 발생하는 잠열량에 의하여 상대습도가 100% 포화상태를 보였다. 절대습도 값을 통하여 비육돈사 내부의 습도환경을 분석한 결과, 윈치커튼 주변의 지점별 습도의 경우에는 $18.9\text{g ka}(\text{da})^{-1}$ 로 건조 공기 1kg당 18.9g의 수증기량을 가지는 것으로 나타났으며, 측벽 배기팬이 위치한 내측으로 갈수록 절대습도가 높게 형성되는 것을 확인 할 수 있었으며, 이 때, 내측의 평균 절대습도의 경우에는 $19.7\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 으로 윈치커튼과 비교하여 $0.8\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 가 많은 수증기량을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 상대적으로 건조하고 낮은 습도환경을 갖는 외부의 공기가 윈치커튼의 틈새로 유입됨에 따라서 윈치커튼에 가까이 위치한 지점에서의 절대습도가 낮게 형성되는 것으로 판단된다. 또한 침기의 영향으로 인하여 이슬점 온도가 낮아짐에 따라 윈치커튼에 가까이 위치한 입기덕트, 급이기 등의 구조물에 응결이 발생한 것으로 판단된다.

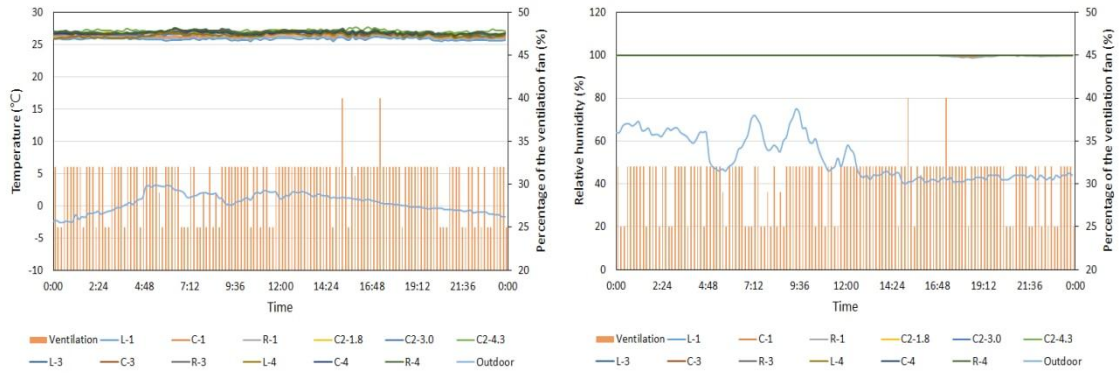


그림 3-1-22 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온습도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 19일)

2017년 1월 21일은 일간 최저 기온이 영하 -7.8°C 를 나타냈으며, 일반적으로 일사의 영향으로 하루 중 가장 기온이 높은 오후 2시 무렵의 최고 기온도 영상 4.2°C 를 나타냈다. 평균적으로 영하 1.1°C 의 차가운 공기가 최소 환기를 함에 따라 축사 내부에 유입되어 지점별 변동성이 2016년 11월보다 높은 변동계수 0.027를 나타냈다. 대상 비육돈사는 앞서 언급한 바와 같이 all-in/all-out 시스템을 적용하지 않기 때문에 출하를 위한 비육돈 선별을 위하여 오후 2시 30분경부터 3시까지 작업을 위하여 돈사에 설치된 윈치커튼을 개방함에 따라 온도가 급격하게 낮아짐을 그림 3-1-23에서 확인할 수 있다. 습도의 경우에는 기상환경의 변화에 따라 상대습도가 변화하는 것을 확인할 수 있었으며, 축사 내부의 습도의 경우에는 윈치커튼을 개방함에도 불구하고 겨울철 최소 환기를 실시하고, 비육돈에서 발생하는 잠열량, 호흡, 분뇨에서 발생하는 증발량 등의 요소로 인하여 축사 내부가 과포화 상태를 나타내고 있기 때문에 상대습도가 100%로 유지되는 것으로 판단되었다. 그러나 절대습도의 지표를 통하여 지점별 수증기의 량을 비교하게 되면 가장 높은 지점은 건조공기 1kg당 수증기를 21.2g를 포함하고 있지만 가장 낮은 지점은 13.5g으로 나타났다. 평균적으로 4.3%의 지점별 변동성을 나타내고 있으며 평균적으로 1kg의 건조공기 당 19.2g의 수증기를 포함하고 있다. 이는 2016년 11월보다 외부기온이 감소함에 따라 축사 내외부의 온도차가 크게 발생함에 따른 결과로 판단된다. 2017년 1월 21일 경우에는 비육돈사의 각 사료통에 공급되는 급이량을 측정하는 기기의 고장으로 정확한 사료공급량을 파악하기는 어렵지만 급수량의 경우에는 전일 대비 1.1L의 음수량이 감소함을 확인할 수 있었다. 이는 약 30분간 실시된 환기에 의하여 내부의 온도가 가축이 쾌적한 온도로 느끼는 온도인 21°C 에 도달하였으며, 이 시간동안 축사 내부의 열환경이 전반적으로 낮아짐에 따라 비육돈의 음수요구량이 감소한 것으로 판단된다.

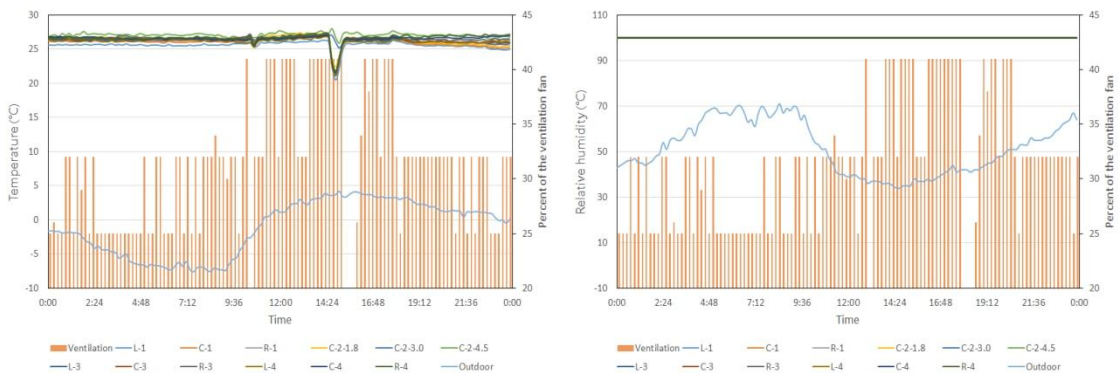


그림 3-1-23 바른농장의 외부 기온 및 비육돈사 내부 온도 분포 및 가변식 환기팬의 가동 정보 (2017년 1월 21일)

경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 3월24일부터 3월31일까지의 시계열 분포는 다음 그림 3-1-24와 같다. 비육돈사의 환기제어 설정온도는 25°C로 설정되어 있기 때문에 비육돈사 내부의 평균 온도는 27°C를 기준으로 크거나 작은 값을 나타내고 있다. 일반적인 자연현상으로 일출직전 돈사 외부의 온도가 가장 낮고, 상대습도가 가장 높기 때문에 비육돈사가 환기가 항상 이루어진다는 것을 고려하였을 때 내부의 온도, 상대습도, 절대습도의 분포가 유사하게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 일출 직후에는 일사량이 증가하는 등의 원인으로 인하여 외부의 공기 온도가 상승 및 전도열로 인하여 돈사 내부의 온도는 상승하는 경향을 나타내고 이와 더불어 역의 상관관계를 갖는 상대습도의 경우에는 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 일사량이 가장 강한 2-3시 이후에는 일사량의 감소와 일몰의 영향으로 다시 돈사 내부 온도가 감소하고 온도를 기반으로 가변식으로 운영되는 환기팬의 풍량이 감소와 외부 공기의 상대습도 증가로 비육돈사 내부의 상대습도가 증가하였다. 2017년 3월 31일은 외기 평균온도가 10.2°C를 나타냈다. 최고 온도는 오후 2시 30분경 가장 높은 15.1°C 나타냈으며, 23시 30분경 일 최저 기온 8°C를 나타냈다. 환기팬 가동을 위한 설정온도는 겨울철 유입되는 공기의 양을 줄이고, 돼지가 저온충격으로 인한 감기증상을 갖지 않도록 27°C로 설정온도를 조절하였다. 그러나 비교적 증가한 외기온을 고려하여 설정온도를 1°C가량 낮췄다. 돈사 내부의 온도는 설정온도인 25°C를 약간 상회하는 25.6°C를 나타냈으며, 돈사의 복도에서 배기팬 방향으로 갈수록 점차적으로 내부의 공기온도가 증가하는 경향을 나타냈다. 복도측이 배기팬보다 약 1.2°C 정도 낮은 온도 분포를 나타냈으며 이는 윈치커튼으로부터 외부의 공기가 단열되지 않고 상대적으로 낮게 온도분포를 나타내는 것으로 판단되었다. 지역적으로 최대와 최저의 편차의 평균은 1.06°C로 나타났으며, 배기팬 주변에서 편차가 평균보다 약 26% 증가하는 것으로 나타났다.

금일은 외부의 일평균 상대습도는 77.8%를 나타냈지만, 오전 7시부터 10시까지 내린 비로 인하여 해당시간에 외부 공기의 상대습도가 급격하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 외부 기온이 증가함으로써 상대습도가 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 오후 7시경부터 자정까지 내린 강수에 의하여 외부 상대습도가 90%에 가깝게 육박한 것으로 나타났다. 온도제어를 위한 환기팬이 지속적으로 운영됨으로써 높은 외부상대습도와 교환되고, 돈사 내부의 비육돈의 지속적인 호흡으로 인하여 내부의 상대습도는 약 15% 정도 높게 형성된 것으로 판단된다. 외부 습도가 돈사 내부에 환기를 위해 설치된 환기팬에 의하여 내부의 온도가 주로 제어가 되기 때문에 돈사 외부의 온도변화와 돈방 내부 온도 변화는 크게 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

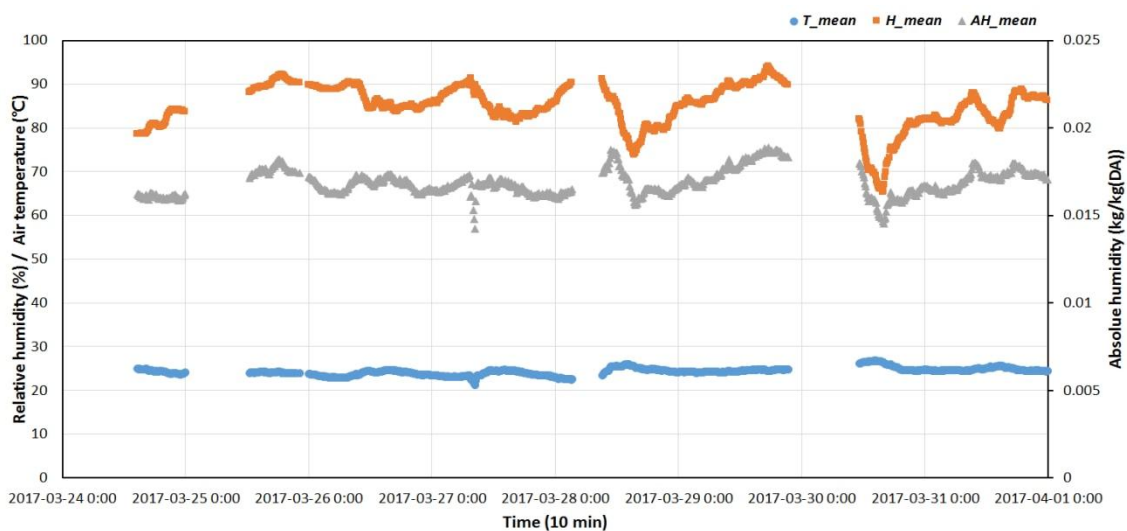


그림 3-1-24 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.03.24.~2017.03.31.)

경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 4월1일부터 4월8일 까지의 시계열 분포는 다음 그림 3-1-25와 같다. 비육돈사의 환기제어 설정온도는 25°C로 설정되어있기 때문에 비육돈사 내부의 평균 온도는 25°C를 기준으로 크거나 작은 값을 나타내고 있다. 일반적인 자연현상으로 일출직전 돈사 외부의 온도가 가장 낮고, 상대습도가 가장 높기 때문에 비육돈사가 환기가 항상 이루어진다는 것을 고려하였을 때 내부의 온도, 상대습도, 절대습도의 분포가 유사하게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 일출 직후에는 일사량이 증가하는 등의 원인으로 인하여 외부의 공기 온도가 상승 및 전도열로 인하여 돈사 내부의 온도는 상승하는 경향을 나타내고 이와 더불어 역의 상관관계를 갖는 상대습도의 경우에는 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 일사량이 가장 강한 2-3시 이후에는 일사량의 감소와 일몰의 영향으로 다시 돈사 내부 온도가 감소하고 온도를 기반으로 가변식으로 운영되는 환기팬의 풍량이 감소와 외부 공기의 상대습도 증가로 비육돈사 내부의 상대습도가 증가하였다. 4월 1일의 경우에는 일출직후 일사에 의하여 돈사의 벽면 전도열과 외부 공기의 온도가 증가하면서 돈사 내부의 온도는 설정온도 25°C보다 최대 1.6°C 높게 나타나고 이에 따른 배기팬의 환기량 증가로 돈사 내부의 상대습도가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 4월 1일 오후에도 외기 온도가 최대 14.1°C로 돈사의 환기가 최소로 이루어지고 돈사 내부에서 비육돈의 호흡, 음수, 분뇨에서 발생하는 수분에 따라 비육돈사의 상대습도 변화가 다른 날과 다르게 매우 미미하게 변하는 것으로 판단된다. 또한 4월 5일의 경우에는 일반적으로 일출 직전 높은 상대습도를 나타내는데 반하여 지속적으로 상대습도가 증가하는 경향을 나타냈으며, 익일(4월 6일)에도 비교적 높은 상대습도가 유지되는 것을 확인되었다. 이는 4월 5일 11시경부터 시작된 강우사상으로 인하여 외부의 상대습도가 증가하고 증가한 외부 습공기가 돈사 내부의 공기와 교체되고 강우로 인하여 돈사 내부의 온도가 크게 증가하지 않은 결과로 인하여 비육돈사가 최소 환기가 이루어짐에 따라 비육돈의 호흡, 음수, 분뇨에서 발생하는 수분발생량으로 전체적으로 돈방 내부의 상대습도가 높게 유지되는 것으로 판단되었으며, 절대습도 또한 유사한 경향을 나타냈다. 또한 4월 3일에 있어서 일출직전 상대습도가 증가함에도 불과하고 절대습도가 갑작스럽게 감소하는 것은 출하 작업으로 인하여 비육돈사 측창의 윈치커튼을 개방함에 따라 상대습도보다는 비육돈사 내부의 공기온도가 3°C 정도 50분간 변화됨에 따른 결과로 판단된다.

또한 농촌진흥청에서 제시하고 있는 비육돈의 적정사육 온·습도 기준과 비교하였을 때, 온도의 경우 환경조절 제어기의 설정온도가 25°C 이상으로 돈사 내부의 공기온도가 조성될 때 환기량을 증가시키도록 제어 알고리즘이 운영되기 때문에 외부의 공기의 상대습도가 낮더라도 일 최대 22°C정도의 외부 공기온도임을 고려하면 환기량이 적어 비육돈사 내부의 온도는 설정온도 기준과 유사하게 유지시킬 수 있는 것으로 나타나지만 비육돈의 권장 사육온도가 21°C임을 고려하면 4°C 이상 높은 온도이며, 설정온도가 높게 설정됨에 따라 환기량이 적기 때문에 결국 돈사 내부의 상대습도는 60~70%의 상대습도가 적절한 사육습도 범위로 제시되고 있지만 약 85%이상의 상대습도가 유지되는 것을 확인하였다. 따라서 적절한 사육환경 조성은 농가 경영비와 연관되기 때문에 농장주는 적절한 관리를 위한 환경제어를 위한 설정을 다시 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

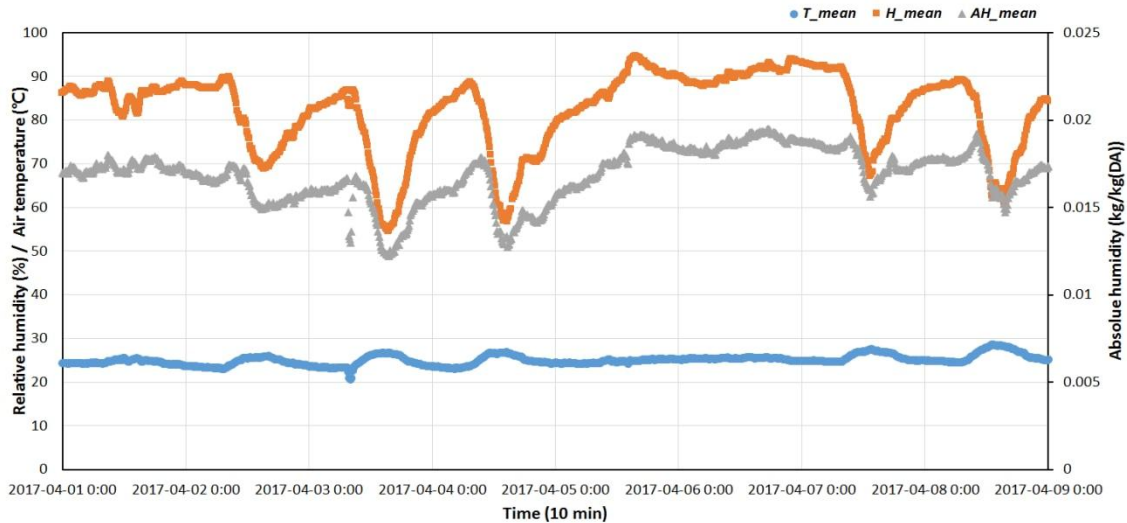


그림 3-1-25 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.04.01.~2017.04.08.)

다음 그림 3-1-26은 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 데이터를 나타낸다. 4월 13일 저녁부터 4월 14일 정오 무렵까지는 비육돈사의 전기적 문제로 인하여 일시적으로 데이터 송신이 끊어지는 문제가 발생하였다. 앞서 언급한 바 와 같이 비육돈사 내부의 온도, 상대습도, 절대습도의 분포는 일출직전에 온도가 낮아짐과 동시에 일변화 중 가장 높은 상대습도를 나타냈으며, 일출 직후에는 외부 일사의 영향으로 전도열, 대류열, 복사열에 의하여 돈사 내부의 온도는 증가하는 경향을 나타냈고 동시에 상대습도는 감소하였다. 그리고 일사의 강도가 감소되는 시점과 일몰 직후에는 온도가 감소하는 경향과 상대습도 및 절대습도는 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 4월 9일부터 4월 15일 동안 비육돈의 사육을 위한 적정온도 21°C는 비육돈사에 환경조절을 위한 제어기의 운영 설정온도가 25°C로 설정됨에 따라서 적정온도보다 상회하는 시계열 온도 분포를 나타냄에 따라 비육돈의 열적스트레스의 노출 가능성이 증가하고 이로인하 사료 섭취량 감소 및 급수기, 외부의 차가운 공기가 유입되는 또는 비교적 표면온도가 낮은 벽체에 비육돈의 밀집현상이 예상된다. 또한 상대습도의 경우에는 4월 12일 오후 한때를 제외하고는 적정사육을 위한 습도환경을 조성하기에 어려움이 있을 것으로 나타났다. 이는 앞선 실험기간과 비교하여 12일에는 외부의 공기온도가 최대 22°C까지 증가함에 따라 외부 공기의 상대습도가 낮고 돈사 내부의 열 축적에 의하여 환기량이 증가함에 따라 돈사 내부의 상대습도가 오후한 때 70%이하로 유지할 수 있는 것으로 나타났지만 그 외 기간에 대해서는 외부의 공기온도가 상대적으로 낮고 그로 인하여 배기팬의 환기량이 감소하기 때문에 돈사 내부의 상대습도는 비육돈의 호흡, 급수, 분뇨으로부터 발생하는 수분량이 비육돈사 내부의 상대습도 증가에 영향을 미친 것으로 판단되며, 절대습도는 상대습도의 시계열 데이터 변화와 유사한 경향을 나타냈다. 따라서, 실험 대상 비육돈사에서는 우선적으로 권장하는 환경조절 설정온도 기준을 1차적으로 적용할 필요가 있을 것으로 판단되며, 일출 직전 및 일몰직후에 있어서의 증가하는 상대습도에 대한 대책을 마련할 필요가 있을 것으로 판단된다.

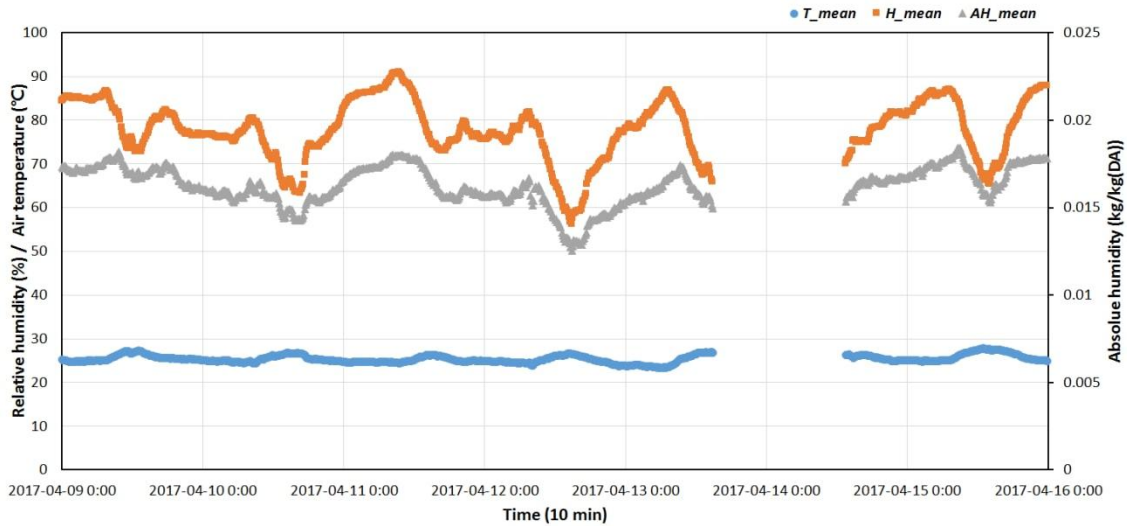


그림 3-1-26 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.04.09.~2017.04.15.)

4월 16일부터 4월 23일까지의 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포는 다음 그림 3-1-27와 같다. 비육돈사 내부의 온도, 상대습도, 절대습도의 분포는 일출 직전에 온도가 낮아짐과 동시에 일변화 중 가장 높은 상대습도를 나타냈으며, 일출 직후에는 외부 일사의 영향으로 전도열, 대류열, 복사열에 의하여 돈사 내부의 온도는 증가하는 경향을 나타냈고 동시에 상대습도는 감소하였다. 그리고 일사의 강도가 감소되는 시점과 일몰직후에는 온도가 감소하는 경향과 상대습도 및 절대습도는 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 실험기간 16일부터 23일 가운데 17일과 18일의 경우 일반적인 시계열 변화와 다른 양상을 보였다. 4월 17일의 경우 일출 직전까지 상대습도가 증가하는 일반적인 현상과 다르게 오전 7시 30분부터 발생한 강우사상으로 인하여 16시까지 지속적으로 상대습도가 증가하였으며, 이후 점차적으로 감소하였다. 그리고 18일의 경우에는 일출 직전 일 중 가장 높은 상대습도를 나타내고 일출 직후 환기량 변화로 인하여 돈사 내부의 상대습도가 급격하게 감소하였다. 그러나 17시 30분 갑작스럽게 발생한 소나기에 의하여 상대습도가 급격하게 증가하였고 소나기가 멈춘 후에는 다시 상대습도가 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 다른 측정일과 다르게 외부의 풍속 분포가 야간에 $3\sim 8\text{ m s}^{-1}$ 가까이 발생하여 외부 공기의 상대습도가 50% 미만으로 유지되고 이러한 외부의 습공기가 최소환기가 이루어지는 비육돈사의 내부 공기와 혼합됨에 따른 것으로 판단된다. 비육돈사의 적정 온·습도 환경을 유지하기 위해서는 무엇보다도 현행 환경조절 제어기의 설정온도 기준을 25°C 에서 적정수준인 21°C 에 가깝게 유지하도록 함이 바람직할 것으로 판단되며, 이로 인하여 기준보다 적정 상대습도를 나타내는 시간은 증가할 것으로 판단되지만 그 외 시간에 대해서는 추가적인 습도 조절을 위한 제습 장치 구비, 새로운 시스템 개발 등의 대책이 필요할 것으로 판단된다.

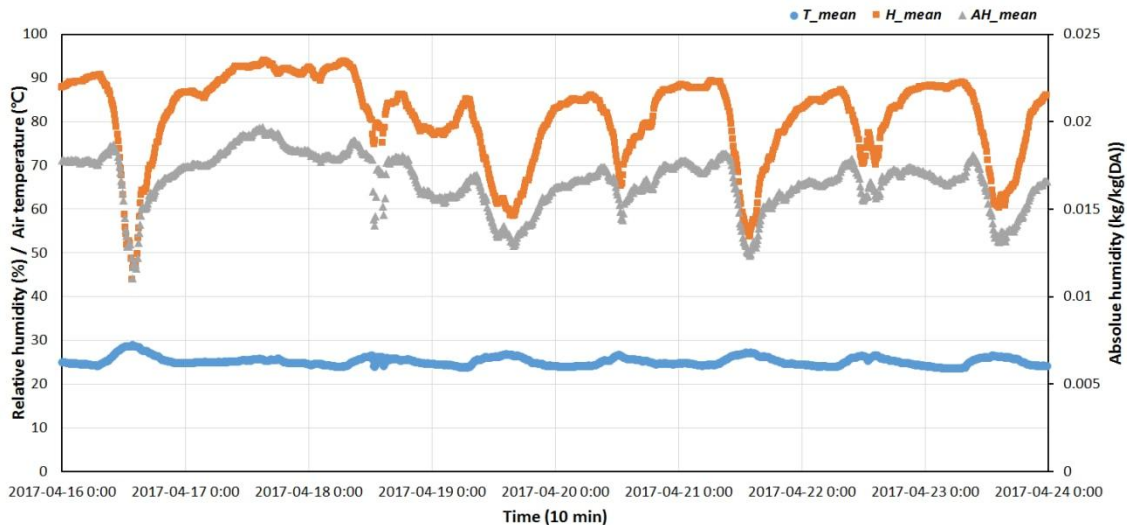


그림 3-1-27 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.04.16.~2017.04.23.)

다음 그림 3-1-28는 4월 24일부터 4월 30일까지의 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포를 나타낸다. 앞서 지속적으로 기술한 바와 같이 일변화에 따른 온도 및 습도 변화는 일반적으로 동일한 경향을 보였다. 그러나 4월 26일의 경우에는 자정 무렵 발생한 강우 사상으로 다른 날들과 비교하여 자정 무렵에 높은 상대습도를 나타냈으며, 일출 직전까지의 상대습도의 증가율이 낮았지만 상대적으로 상대습도는 높은 것을 확인 할 수 있다. 10시 30분에 멈춘 강우에도 불구하고 외부의 온도가 강우에 의하여 16°C로 낮아졌기 때문에 돈사의 환기량이 적게 적용됨에 따라 상대습도의 변화는 10% 이내로 감소하였다. 그리고 외부의 일사의 영향으로 전도, 대류, 복사열의 증가로 인하여 돈사 내부의 평균온도는 증가하는 것으로 나타났으며, 비육돈사의 환경조절 제어기의 설정온도 25°C를 초과하여 4월 29일에는 약 30°C가까이 증가하는 것으로 나타났다. 돈사의 온도가 증가할수록 환기량이 가변식으로 변화기 때문에 외부로부터 상대적으로 건조한 공기가 많이 유입됨에 따라 돈사 내부의 상대습도가 50% 가까이 유지되었다. 또한 돈사 내부의 온도를 비교하였을 때 최대 평균온도가 30일에 발생함에도 불구하고 돈방의 상대습도는 29일보다 약 10% 높은 상대습도가 유지되었다. 이는 비육돈사에서 공기되는 전체적인 환기량은 거의 유사하나 외부의 공기에 대한 수증기 함량에 차이로 인한 것으로 판단된다. 과도하게 높게 형성되는 상대습도 및 절대습도의 경우에는 박테리아, 바이러스 번식과 연관성이 높은 것으로 보고되고 있으며 이는 가축 전염성 질병의 원인으로 발생할 수 있다. 그러므로 실험 비육돈사에 대한 과습 제어를 위한 대책이 필요할 것으로 판단되며, 일이 증가할수록 증가하는 외부의 공기온도와 일사량에 의한 전도열, 복사열로 인하여 축사 내부의 온도가 과도하게 상승하는 것을 방지하기 위한 냉방 장치에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 돈사 내부의 온도가 과하게 높을 때는 환기량이 증가하여 돈사 내부가 건조해져 분진 발생량이 증가할 우려가 있다. 분진은 비육돈의 호흡기성 질병 발생과도 매우 밀접한 연관성을 가지고 있는 만큼 이에 대한 문제 해결을 위한 대책을 강구할 필요가 있다.

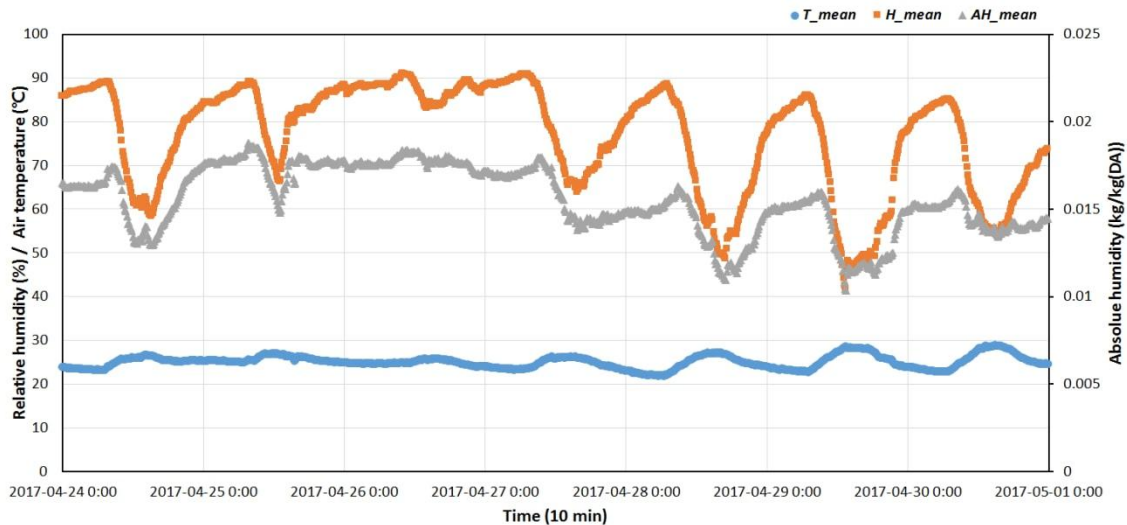


그림 3-1-28 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.04.24.~2017.04.30.)

다음 그림 3-1-29는 실험기간 5월 1일부터 5월 8일까지의 비육돈사 내부의 10분 평균 온도, 평균 상대습도, 평균 절대습도의 시계열 변화를 나타낸다. 평균 온도의 경우, 일반적으로 일출직전에 가장 낮게 나타났으며, 일출직후 외부의 공기가 증가하면서 돈사 내부의 평균 온도는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 돈사 내부의 상대습도의 경우에는 온도와 반비례하는 일반적인 사실과 같이 일출직전까지 지속적으로 상대습도가 증가하는 경향을 나타내고 일출직후에는 외부의 공기온도가 증가함에 따라 공기가 포함할 수 있는 공기의 수증기양이 증가하면서 상대습도가 낮아지는 것으로 판단된다. 또한 상대습도는 공기온도가 일반적으로 가장 높은 오후 2-3시경에 가장 낮게 나타났고, 이후 일사량 감소와 일몰로 인하여 비육돈사 내부에는 상대습도가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 절대습도의 경우에도 상대습도의 경향과 동일하게 시간 변화에 따라 크게 달라지지 않는 것을 확인할 수 있다.

그러나 5월 5일의 경우에는 다른 날과 다르게 상대습도가 90%가 상회하는 정도로 유지 되는 것으로 나타났다. 이는 5월 4일 21시경부터 12시경까지 내린 강우로 인하여 다른 날들과 달리 자정 무렵 90%에 달하는 상대습도를 나타냈다. 이는 돈사 내부의 온도가 약 25.3 °C로 설정온도 기준인 25°C를 초과함에 따라 외부의 습한 공기가 비육돈사 내부의 공기와 교체됨에 따른 결과로 판단된다. 또한 오전 무렵 습도가 증가하는 이유는 09시부터 20시까지 내린 강우로 인하여 지속적으로 증가한 것으로 판단된다. 실험기간 (5월1일~5월8일)동안 상대습도의 경우 농촌진흥청에서 제시하고 있는 비육돈의 적정사육을 위한 상대습도 기준 (60~80%)으로 비교하였을 때, 대상 비육돈사에서는 일몰직후부터 일출직전까지 상대습도가 적정수준을 초과하는 것으로 나타났으며, 일출직후에 상대습도가 적정사육을 위한 기준에 부합되는 것으로 나타났다. 그러나 비육돈사에서 사용하고 있는 자동 환경조절제어기의 경우에는 온도를 기반으로 환기량이 제어가 되기 때문에 오후 2시 무렵에는 환기량이 많아짐에 따라 대류가 많아지기 때문에 비육돈사 내부의 상대습도가 60% 이하로 나타나는 경우가 발생하였다. 그러나 너무 낮은 상대습도는 돈방 내부의 분진 발생량을 증가시켜 비육돈의 호흡기계통의 질환을 야기할 수 있을 가능성이 증가하고, 과도한 상대습도의 경우에는 바이러스 증식에 따른 폐지의 전염성 질병의 감염 우려가 존재하기 때문에 적정한 수준의 상대습도 유지를 위한 추가적인 장치, 기기 등의 보완·대책이 필요 할 것으로 판단된다.

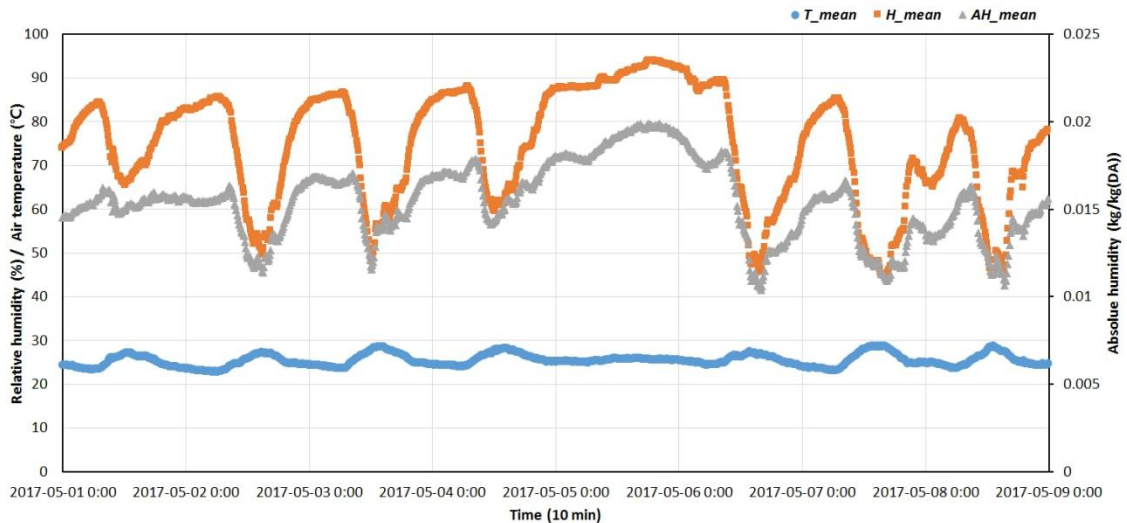


그림 3-1-29 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.05.01.~2017.05.08.)

실험기간 5월 9일부터 5월 15일까지의 비육돈사 내부의 10분 평균 온도, 평균 상대습도, 평균 절대습도의 시계열 변화를 나타낸다. 5월 14일의 경우 비육돈사 내 환경 데이터를 원격 송·수신하기 위하여 구축된 시스템의 점검 및 보완을 위하여 해당 시간동안 데이터는 측정되지 않았다. 평균 온도의 경우, 일반적으로 일출직전에 가장 낮게 나타났던 것과 달리 새벽 3시부터 내린 강우에 의하여 비육돈사에 내부 설정온도인 25°C보다 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 또한 5월9일 12시 무렵 다시 내린 비로 인하여 외부의 습한공기가 돈방 내부의 공기와 교체됨으로써 상대습도가 95%까지 급격하게 증가한 것으로 판단되며, 19시 이후 강우가 멈춤으로써 비육돈사의 내부 상대습도는 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 일출직후 8시 무렵에는 상대습도가 급격하게 증가하여 일 최대 상대습도를 나타냈으며, 일출직후에는 외부의 공기온도가 증가함에 따라 공기가 포함할 수 있는 공기의 수증기양이 증가하면서 상대습도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 상대습도는 공기온도가 일반적으로 가장 높은 오후 2-3시경에 가장 낮게 나타났고, 이후 일사량 감소와 일몰로 인하여 비육돈사 내부에는 상대습도가 급격하게 증가하는 것을 확인 할 수 있으며, 절대습도의 경우에도 상대습도의 경향과 동일하게 시간 변화에 따라 크게 달라지지 않는 것을 확인 할 수 있다. 특히 5월 11일의 경우에는 다른 날과 다르게 비육돈사 내부의 평균 상대습도가 47%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이는 돈사 내부의 온도가 최대 30°C를 초과함으로써 비육돈사의 환기량이 과도하게 증가하고 전날과 달리 강우가 없었기 때문에 외부의 상대습도가 낮게 형성됨에 따른 결과로 판단된다. 그리고 일몰직후에는 외부의 상대습도가 증가함과 동시에 환기량도 비교적 높기 때문에 급격하게 상대습도가 증가한 것으로 사료된다. 또한 5월 12일일 경우에는 오전 10시에 내린 강우로 인하여 급격하게 상대습도가 증가하는 것으로 나타났으며, 17시 이후에 멈춘 강우로 인하여 상대습도는 감소하는 것으로 나타났다.

실험기간 (5월9일~5월16일)동안 상대습도의 경우 농촌진흥청에서 제시하고 있는 비육돈의 적정사육을 위한 상대습도 기준 (60~80%)으로 비교하였을 때, 대상 비육돈사에서는 11일과 14일을 제외하고 상대습도가 적정수준을 초과하는 것으로 나타났으며, 일사량이 높을 때는 환기량이 증가하여 적정사육을 위한 기준에 부합되는 것으로 나타났다. 그러나 비육돈사에서 사용되는 환경조절용 제어기가 온도만을 고려하기 때문에 비육돈사 내부 설정온도 25°C에 가깝게 온도를 유지시키기 위하여 가변식 환기가 이루어지지만 습도는 고려되지 않기 때문에 상대습도가 60%이하로 감소되는 경우가 발생하였다. 그러나 이는 돈방 내부의 분진 발생량을 증가시켜 비육돈의 호흡기계통의 질환을 야기할 수 있을 가능성이 증가하고, 과도한 상대습도의 경우에는 바이러스 증식에 따른 돼지의 전염성 질병의 감염 우려가 존재하기 때문에 적정한 수준의 상대습도 유지를 위한 추가적인 장치, 기기 등의 보완·대책이 필요 할 것

로 판단된다. 또한 권장하는 사육적정온도 21°C를 고려하면 현재 비육돈사에서 자동 환경조절 제어기에 설정하고 있는 온도 25°C는 과다하다고 사료되며, 그림 3-1-30와 같이 비육돈의 급수량이 증가하고 급수시 누출되는 물에 의하여 바닥온도가 비교적 낮은 급수기 근처에 비육돈의 밀집현상이 발생할 것으로 판단된다. 그러므로 별도의 냉방 장치가 필요로 할 것으로 판단되고 냉방 장치가 구비되지 않은 돈사라고 한다면 송풍량을 비육돈이 풍속 스트레스를 받지 않는 범위에서 풍량을 증가시켜 체감온도를 낮추고자 하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

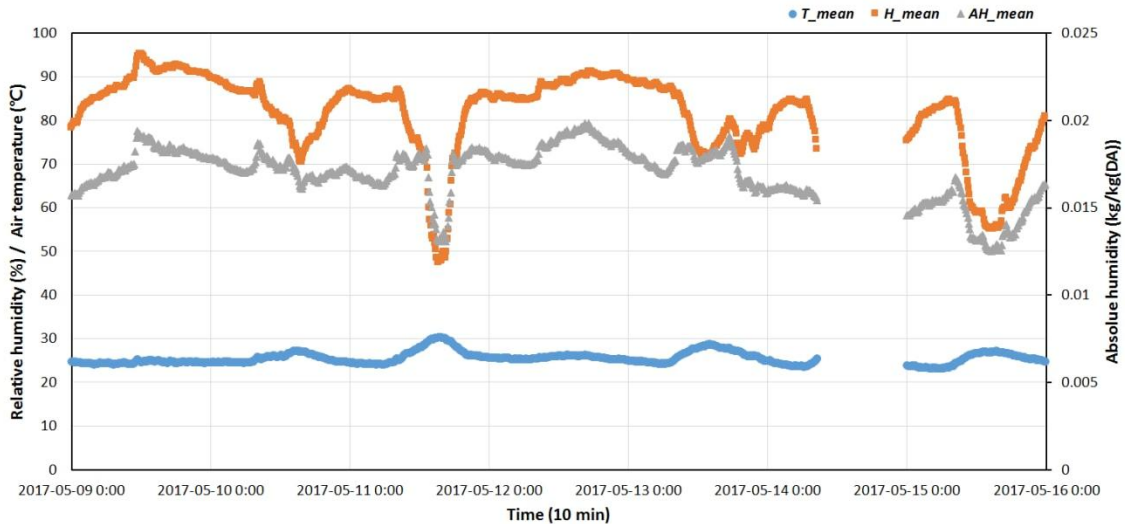


그림 3-1-30 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.05.09.~2017.05.16.)

다음 그림 3-1-31는 실험기간 5월 16일부터 5월 23일까지의 비육돈사 내부의 10분 평균 온도, 평균 상대습도, 평균 절대습도의 시계열 변화를 나타내며, 일출직전, 일출직후, 일몰직후의 변화는 실험기간에 있어서 일별로 매우 유사하게 나타났다. 평균 온도의 경우, 일반적으로 일출직전에 가장 낮게 나타났던 것과 같이 일출직전 오전 08시경 가장 낮은 온도를 나타내면 일출직후 일사량의 영향으로 인하여 점차적으로 돈사 내부의 공기온도가 증가하는 것으로 나타났으며, 일사량이 가장 큰 시간 이후 일사량 감소 및 일몰로 인하여 돈사의 공기온도는 감소하는 경향을 실험기간 전체에 있어서 동일한 경향을 나타냈다. 돈사 내부의 환경조절 제어기의 경우에는 돈사 내부의 많은 미기상 (온도, 습도, 가스 등) 가운데서 온도만을 변수로써 자동되어 되기 때문에 온도가 증가할수록 환기량이 증가하게 되고 돈사 내부의 상대습도의 경우에도 온도가 증가하여 환기량이 증가하기 때문에 외부의 낮은 상대습도를 갖는 공기와 공기 교환이 잘 이루어진 것으로 판단되며, 그림 3-1-31에서 보이는 바와 같이 돈사 내부의 온도가 증가할수록 상대습도는 반비례함을 확을 할 수 있다.

실험기간 (5월9일~5월16일)동안 상대습도가 농촌진흥청에서 제시하고 있는 비육돈의 적정사육을 위한 상대습도 기준 (60~80%)을 만족할 때는 돈사 내부의 공기온도가 증가함에 따라 돈사 내·외부의 공기 교환량 (상대적으로 저온저습의 공기)이 증가함에 따라서 상대습도가 낮게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 지나친 외기온의 증가와 내부 온도의 증가는 비육돈사의 전체 환기량을 증가시키기 때문에 비육돈사 바닥 및 벽 등의 습도가 감소함에 따라 돈방 내부의 분진 발생량을 증가시켜 비육돈의 호흡기계통의 질환을 야기할 수 있을 가능성이 증가하고, 과도한 상대습도의 경우에는 바이러스 증식에 따른 폐지의 전염성 질병의 감염 우려가 존재하기 때문에 적절한 수준의 상대습도 유지를 위한 추가적인 장치, 기기 등의 보완·대책이 필요 할 것으로 판단된다. 또한 공기온도를 적정수준으로 유지하기 위해서는 냉방 장치 및 유입공기의 온도를 낮추기 위한 추가적인 장치, 기기의 도입 및 환기구의 조절이 필요할 것으로 판단된다. 그러므로 별도의 냉방 장치가 필요로 할 것으로 판단되고 냉방 장치가 구비되

지 않은 돈사라고 한다면 송풍량을 비육돈이 풍속 스트레스를 받지 않는 범위에서 풍량을 증가시켜 체감온도를 낮추고자 하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

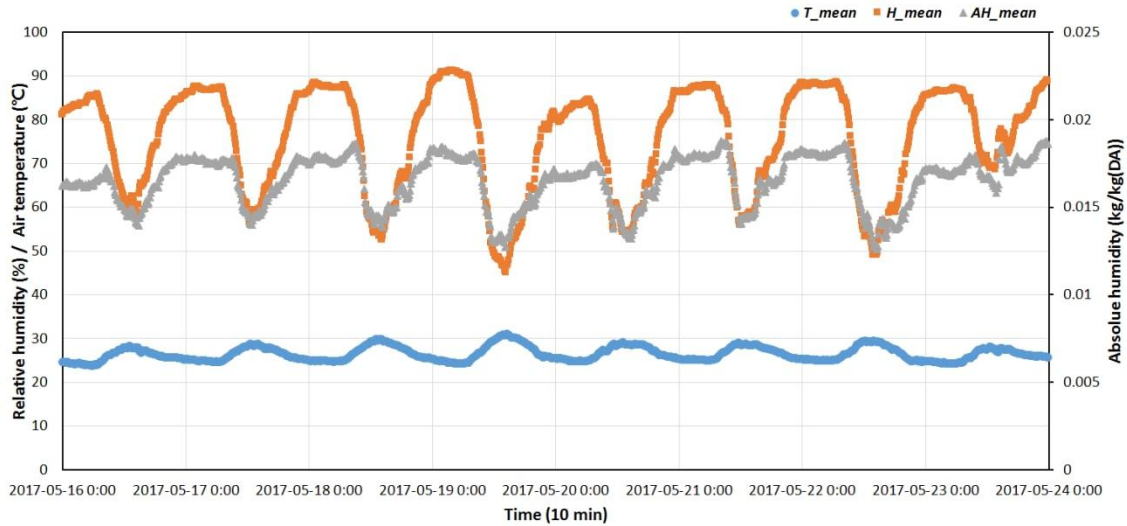


그림 3-1-31 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.05.17.~2017.05.24.)

다음 그림 3-1-32는 실험기간 5월 24일부터 5월 31일까지의 비육돈사 내부의 10분 평균 온도, 평균 상대습도, 평균 절대습도의 시계열 변화를 나타내며, 실험기간에 있어서 일별 환경변수의 변화는 일반적으로 맑은 날과 유사한 변화를 보였다. 평균 온도의 경우, 일반적으로 일출직전에 가장 낮게 나타났던 것과 같이 일출직전 오전 08시경 가장 낮은 온도를 나타내고 일출직후 일사량의 영향으로 인하여 점차적으로 돈사 내부의 공기온도가 증가하는 것으로 나타났으며, 일사량이 가장 강할 때, 비육돈사 내부의 평균온도는 증가하였다. 이후 일사량 감소 및 일몰로 인하여 돈사의 공기온도는 감소하는 경향을 실험기간 전체에 있어서 동일한 경향을 나타냈다. 돈사 내부의 환경조절 제어기의 경우에는 돈사 내부의 많은 미기상 (온도, 습도, 가스 등) 가운데서 온도만을 변수로써 자동되어 되기 때문에 온도가 증가할수록 환기량이 증가하게 되고 돈사 내부의 상대습도의 경우에도 온도가 증가하여 환기량이 증가하기 때문에 외부의 낮은 상대습도를 갖는 공기와 공기 교환이 잘 이루어진 것으로 판단된다. 5월 24일은 경우에는 일출직후 온도가 증가함에 따라서 상대습도가 감소하는 경향을 나타내다가 다시 상대습도가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 13시부터 15시 30분까지 발생한 강우사상으로 외부의 습한 공기가 돈사 내부의 공기와 교체됨에 따른 결과로 상대습도가 증가, 감소하는 경향을 나타냈으며, 이후 일사량이 감소하고 일몰과 함께 돈사 내부의 상대습도는 증가한 것으로 판단된다.

실험기간 (5월24일~5월31일)동안 상대습도가 농촌진흥청에서 제시하고 있는 비육돈의 적정사육을 위한 상대습도 기준 (60~80%)을 만족할 때는 돈사 내부의 공기온도가 증가함에 따라 돈사 내·외부의 공기 교환량 (상대적으로 저온저습의 공기)이 증가함에 따라서 상대습도가 낮게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 지나친 외기온의 증가와 내부 온도의 증가는 비육돈사의 전체 환기량을 증가시키기 때문에 비육돈사 바닥 및 벽 등의 습도가 감소함에 따라 돈방 내부의 분진 발생량을 증가시켜 비육돈의 호흡기계통의 질환을 야기할 수 있을 가능성이 증가하고, 과도한 상대습도의 경우에는 바이러스 증식에 따른 폐지의 전염성 질병의 감염 우려가 존재하기 때문에 적절한 수준의 상대습도 유지를 위한 추가적인 장치, 기기 등의 보완·대책이 필요 할 것으로 판단된다. 또한 공기온도를 적정수준 (21°C)로 유지하기 위해서는 외부의 공기온도가 21°C 이상으로 형성되기 때문에 냉방 장치 및 유입공기의 온도를 낮추기 위한 추가적인 장치, 기기의 도입 및 환기구의 조절이 필요할 것으로 판단된다. 냉방 장치가 구비되

지 않은 돈사라고 한다면 송풍량을 비육돈이 풍속 스트레스를 받지 않는 범위에서 풍량을 증가시켜 체감온도를 낮추고자 하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

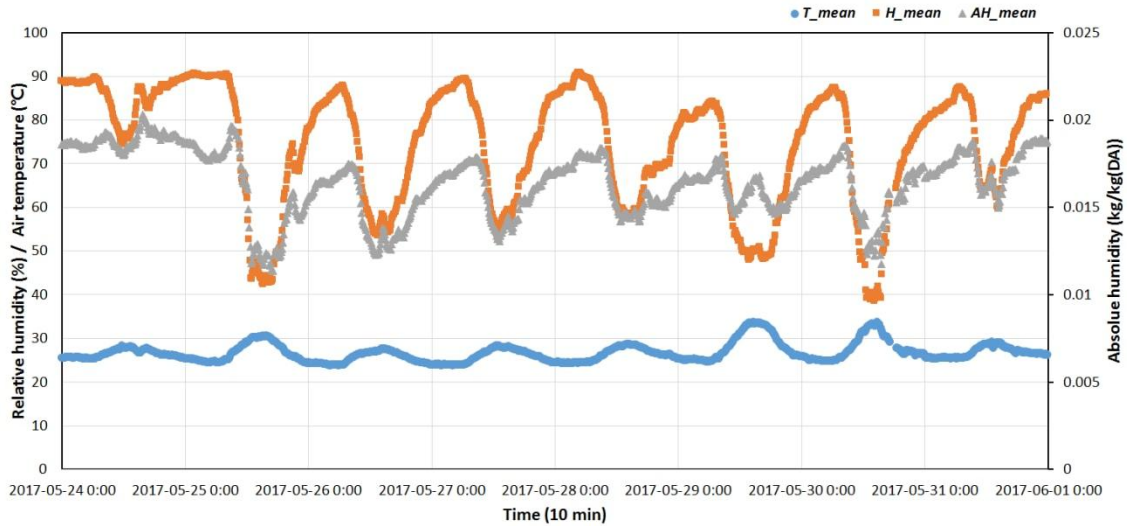


그림 3-1-32 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.05.24.~2017.05.31.)



(a) 급수기 주변 비육돈의 밀집 현상



(b) 비육돈의 급수량 증가

그림 3-1-33 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사의 적정온도 이상의 돈사 내부 온도로 인한 비육돈의 밀집 및 급수량 증가 현상 (5월 31일)

다음 그림 3-1-34는 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포를 나타낸다. 06월01일부터 06월05일까지 시간 변화에 따른 돈사 내부의 평균온도와 습도변화는 일반적으로 다른 날들과 동일한 경향을 나타냈다. 6월 6일의 경우에는 일출직전 습도의 경우 일반적으로 가장 높았음에도 불구하고 해당 일의 경우에는 일출직전부터 오후 3시 비가 오기 전까지 지속적으로 비육돈사 내부의 상대습도가 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 해당 일의 경우에는 전날과 다르게 외부의 공기온도의 경우 유사하게 형성되었으나 상대습도에 있어서 외부의 상대습도가 약 10%정도 낮게 형성됨에 따라 돈사 내부의 상대습도를 증가시킨 것보다는 오히려 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 앞서 언급한바와 같이 오후 3시부터 발생한 강우사상으로 인하여 상대습도가 매우 급격하게 증가하는 것으로 나타났으며, 강수량이 감소하기 시작한 11시경부터 다시 외부의 공기온도 증가와 상대습도 감소에 따라 비육돈사 내부의 상대습도는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 7일의 경우에는 지속적으로 비가 오고 있음에도 불구하고 08시의 일출 무렵까지 공기의 상대습도가 증가하는 것으로 알 수 있으며, 이후 06시 30분까지 내린 비로 인하여 외부의 상대습도가 높고 축사의 내부 열원이 설정온도 기준인

25°C보다 낮게 형성되어 있기 때문에 축사 배기팬의 성능이 크게 증가하지 않고 적은 용량으로 운영됨에 따라서 축사 내부의 온도 및 상대습도의 변화는 다른 날과 비교하여 상대적으로 적게 발생하는 것으로 판단되었다.

비육돈사 내부에서 형성되는 내부의 환경조건을 적정사육환경과 비교하면 2가지 문제가 발생한다. 첫째는 비육돈의 사육적정온도인 21°C를 만족시키지 못한다는 점이다. 농촌진흥청에서는 비육돈을 사육하기 위한 적정온도를 21°C로 고시하고 있음에도 불구하고 해당 농장주는 시스템 운영비를 고려하여 환기설정온도를 이보다 4°C높은 25°C로 설정한다. 그러나 적절하지 못한 환기시스템의 운영은 비육돈의 사료 섭취량을 감소시킬 뿐만 아니라 음수량을 증가시켜 돈사 전반적으로 습도 문제를 더 야기시킬 것으로 판단된다. 더욱이 사료 섭취량은 비육돈의 성장과 출하와도 연관되어 있어 적절한 수준의 유지가 필요할 것으로 판단된다. 두 번째는 습도의 문제이다. 비육돈의 적정사육습도는 60~70% 정도로 유지하는 것이 적절하다고 언급하고 있다. 그러나 해당 농장에서는 농장 운영비 및 농장주의 경험에 의하여 시스템을 가동하고 있다. 따라서 내부의 온·습도 환경은 사육 권고치와 비교하여 매우 높다. 습도는 일출직전과 일몰직후에 높아지기 시작하여 적절한 수준인 70%이상으로 형성되는 경우가 발생함에 따라 바이러스, 박테리아 등의 성장에 적절한 환경에 노출됨에 따라 가축 질병 측면에서는 적절하지 않은 것으로 판단되며, 해당 시간에 대해서는 추가적인 제습 대책이 필요할 것으로 사료된다. 또한 오후에는 과도하게 작동되는 환기팬에 의하여 돈사 내부의 습도환경이 외부의 습도환경과 거의 유사하게 형성되는 경향을 보였으며, 이 경우, 내부의 습도가 60%이하로 건조하게 형성됨에 따라서 비육돈 및 작업자의 활동으로 인한 비육돈사 내 분진 발생이 증가하여 호흡기성 질병을 야기할 수 있는 위험을 초래할 것으로 판단되기 때문에 환기를 실시할 시에는 가습에 대한 대책도 필요할 것으로 판단된다.

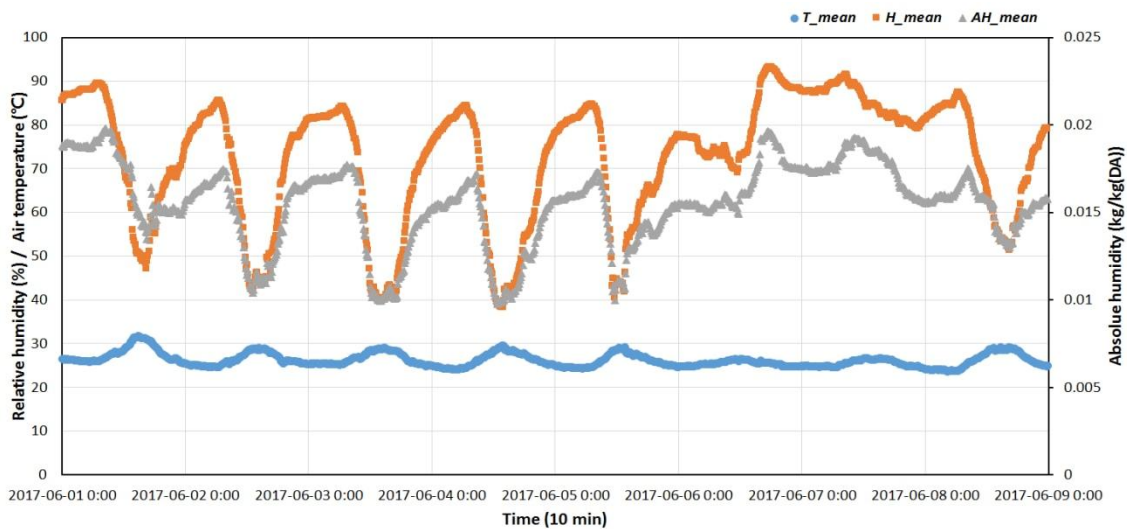


그림 3-1-34 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.06.01.~2017.06.08.)

다음 그림 3-1-35는 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포를 나타낸다. 06월 09일부터 06월 15일까지 시간 변화에 따른 돈사 내부의 평균온도와 습도변화는 일반적으로 다른 날들과 동일한 경향을 나타냈다. 6월 11일 새벽 3시부터 새벽 5시 30분까지 0.5 mm에서 1mm 가량 발생한 강우 사상으로 인하여 외부의 상대습도는 약 85%까지 상승하였으며 그 결과 일출 직전 돈사 내부에서의 상대습도는 약 87%를 나타냈다. 새벽시간에 짧은 시간동안 발생한 강우로 인하여 환기량이 증가하고 외부의 기온이 증가함에도 상대습도가 다른 날과 비교하여 크게 감소하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 또한 비육돈사의 내부 기온이 약 30~32°C까지 상승함에 따라 환기량이 증가하여 내부의 상대습도가 40%정도로 매우 낮아졌으며, 이로 인하여 과건조로 인하여 가축 및

작업자의 활동으로 인하여 건강상의 문제를 야기할 수 있을 것으로 판단된다. 비육돈사 내부에서 형성되는 내부의 환경조건을 적정사육환경과 비교하면 2가지 문제가 발생한다. 첫 번째는 비육돈의 사육적 정온도인 21°C를 만족시키지 못한다는 점이다. 농촌진흥청에서는 비육돈을 사육하기 위한 적정온도를 21°C로 고시하고 있음에도 불구하고 해당 농장주는 시스템 운영비를 고려하여 환기설정온도를 이보다 4°C 높은 25°C로 설정한다. 그 결과 돈사 내부의 온도는 일사량이 강한 시간에는 28~32°C까지 증가하였다. 적절하지 못한 환기시스템의 운영은 비육돈의 사료 섭취량을 감소시킬 뿐만 아니라 음수량을 증가시켜 돈사 전반적으로 습도 문제를 더 야기 시킬 것으로 판단된다. 더욱이 사료 섭취량은 비육돈의 성장과 출하와도 연관되어있어 적절한 수준의 유지가 필요할 것으로 판단된다. 두 번째는 습도의 문제이다. 비육돈의 적정사육습도는 60~70% 정도로 유지하는 것이 적절하다고 언급하고 있다. 그러나 해당 농장에서는 농장 운영비 및 농장주의 경험에 의하여 시스템을 가동하고 있다. 따라서 내부의 온·습도 환경은 사육 권고치와 비교하여 매우 높다. 습도는 일출직전과 일몰직후에 높아지기 시작하여 적절한 수준인 70%이상으로 형성되는 경우가 발생함에 따라 바이러스, 박테리아 등의 성장에 적절한 환경에 노출됨에 따라 가축 질병 측면에서는 적절하지 않은 것으로 판단되며, 해당 시간에 대해서는 추가적인 대책이 필요할 것으로 사료된다. 또한 오후에는 과도하게 작동되는 환기팬에 의하여 돈사 내부의 습도환경이 외부의 습도환경과 거의 유사하게 형성되는 경향을 보였으며, 이 경우, 내부의 습도가 60% 이하로 건조하게 형성됨에 따라서 비육돈 및 작업자의 활동으로 인한 비육돈사 내 분진 발생이 증가하여 호흡기성 질병을 야기할 수 있는 위험을 초래할 것으로 판단되기 때문에 환기를 실시할 시에는 가습에 대한 대책도 필요할 것으로 판단된다.

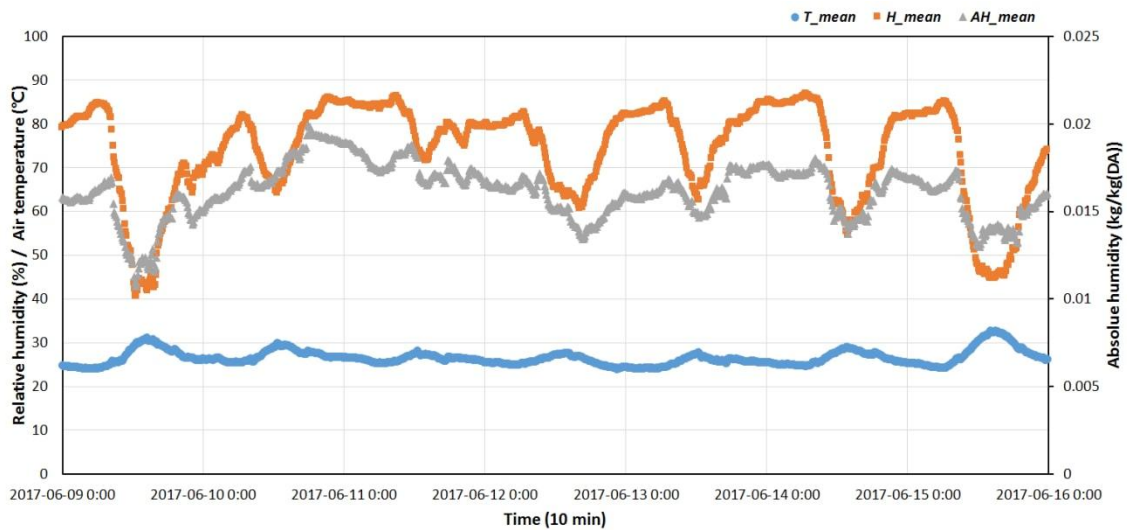


그림 3-1-35 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.06.09.~2017.06.15.)

다음은 2017년 06월 16일부터 2017년 06월 24일까지의 비육돈사 내부의 온도분포와 상대습도 및 절대 습도에 대한 시계열 분포를 나타낸다 (그림 3-1-36). 6월 21일의 경우에는 데이터 송수신 컴퓨터의 성능 유지 및 보수를 위하여 일시적인 점검을 수행하였으며, 이로 인하여 결측치가 발생하였다. 자연적 현상에 따른 일반적 경향과 유사하게 일출직전까지는 비육돈사 내 온도가 감소하고 동시에 환기량이 적기 때문에 습도는 증가하는 것을 확인 할 수 있으며, 일출직후에는 점차적으로 증가하는 외부 공기, 환기량 증가, 일사에 의하여 증가된 열이 벽면으로부터 전도됨으로써 비육돈사 내부의 공기온도가 증가하는 것을 확인할 수 있으며 주간 최대 32°C 까지 증가함에 따라 환기량이 증가하는 경향을 나타내고 일출 직후에는 일사량이 적어지기 때문에 외부의 공기온도가 감소하고 이로 인하여 환기량이 상대적으로 감소하기 때문에 돈사 내부의 상대습도는 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 일별 외부 공기온

도 및 일사량에 따라서 비육돈사 내부에서 형성되는 공기의 온도는 차이가 나타나며, 이에 따라 돈사 내부에 형성되는 상대습도도 다르게 발생한다. 6월 17일부터 6월 19일의 경우에는 외부의 공기온도 및 일사량에 따라 비육돈사 내부에 형성되는 온도와 습도 분포가 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 17일의 경우 외부의 최대 온도가 30.3°C까지 증가하고 상대 습도가 36%이기 때문에 시간당 돈사 내외부의 공기교환량이 많기 때문에 돈사 내부의 온도는 돈사 외부의 공기온도와 유사한 것을 확인할 수 있다. 습도의 경우에는 외부의 상대습도가 36%임에도 불구하고 돈사 내부에서 비육돈의 온도 조절을 위한 잠열량이 증가함에 따라 내부의 수분 발생량 및 흡수량 증가로 내부의 상대습도는 57%로 형성되었다. 18일의 경우에는 전일과 비교하여 동시간대에 상대습도는 36%로 동일하였지만 외부 공기온도가 약 32에 육박하기 때문에 비육돈사 내부의 온도가 증가하고 이를 조절 및 제어하기 위한 환기팬 가동시간 및 용량이 증가하여 돈사 내부에서의 상대습도는 전일과 상대습도는 유사하지만 절대습도의 양은 감소하는 것으로 나타났다. 19일에는 약 33°C에 가까운 공기온도를 나타냄에 따라 환기량이 증가하고 돈사 내에 형성되는 풍속에 의한 증발량이 많아져 상대습도는 최소 50%까지 감소하였다. 그러나 일별 온도 변화가 클수록 환기량이 크게 달라지기 때문에 비육돈사 내부의 온도 및 습도 환경의 일변화 폭 또한 크게 나타나기 때문에 이 또한 비육돈의 스트레스 원인으로 작용할 수 있는 가능성이 농후한 것으로 판단된다. 온도가 크게 증가한 경우에 한해서는 돈사 내부의 상대습도가 적정 기준치인 60% 이하로 감소하고 온도가 적정 기준치 이상으로 증가하고 형성된 풍속으로 체감온도를 낮추고 있으며 쿨링패드 등의 가습 및 냉방 장치가 필요할 것으로 판단된다.

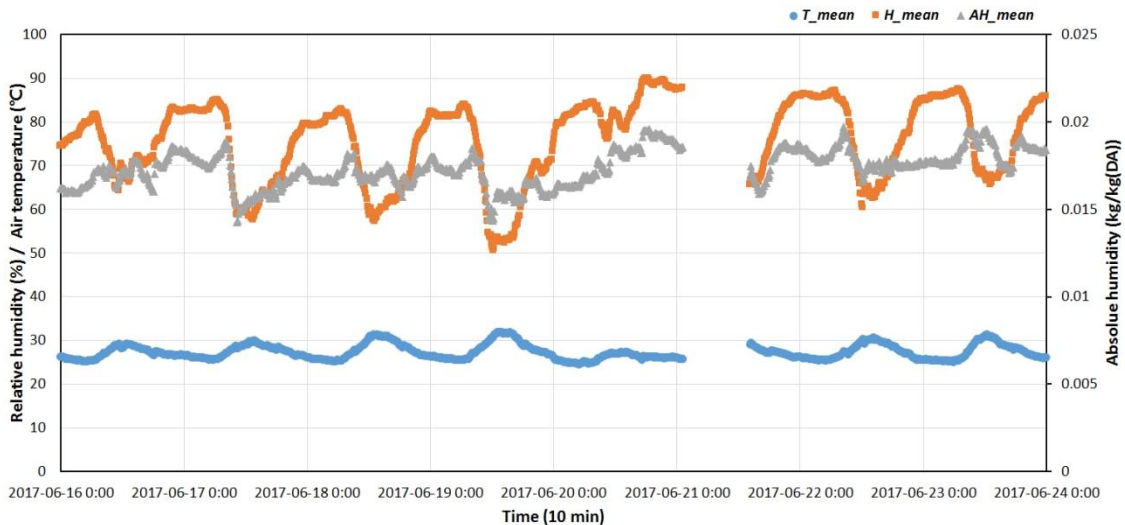


그림 3-1-36 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.06.16.~2017.06.24.)

다음 그림 3-1-37는 2017년 06월 25일부터 동년 06년 30일까지의 비육돈사 내부의 온도, 상대습도, 절대습도를 나타낸다. 돈사 내부의 습도의 경우에는 일별 변화에 대한 경향은 유사하게 나타는 것으로 확인되었다. 그러나 일출직전까지의 돈사 내부의 습도가 증가하는 온도로 인하여 선형적으로 증가하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 일사량이 가장 높은 2-3시 사이의 공기온도가 29°C에 육박하기 때문에 돈사 내부의 온도도 30°C 까지 증가하는 것을 6월 24일 확인 할 수 있으며, 이로 인하여 돈사 내부의 온도 환경을 설정온도로 유지하기 위하여 증가한 환기량으로 인하여 외부의 공기와 내부의 공기가 많이 교체 되고 증가된 풍환경에 의하여 돈사 내부의 피트 및 공기가 건조해져 상대습도는 약 66%까지 감소하였다. 그러나 6월 26일의 경우에는 동시간 외부의 공기온도가 25°C로 나타나 전일과 비교하여 3°C 낮아 비육돈사에서 평균온도는 25.7°C으로 나타나 환기량이 상대적으로 적어 내외부 습도가 75% 정도로 형성되는 것으로 판단되었다. 그리고 6월 29일의 경우에는 12시와 17시부터 내린 강우로 인하여 공기의 온도가 감소하고 상대습도가 증가하였다. 금주에서는 00시부터 일출 직전까지의 습도와

일몰직후의 돈사 내부 상대습도에서 적정 기준치를 상회하는 것으로 모의되었으며, 온도의 경우에는 설정온도가 26°C로 설정됨에도 불구하고 비육돈사의 내부온도는 전도, 대류 열전달로 인하여 적정 온도 수준보다 8~9°C 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 이는 농장주의 경험적 운영으로 인하여 설정온도가 적정기준치보다 5°C높게 설정되어있기 때문에 비육돈사의 내부 열환경이 더욱 열악한 것으로 판단되며, 이로 인해 비육돈의 음수량 증가 및 사료섭취량 감소가 예상되며, 증체량 및 출하일수 등의 경영적 문제를 야기 시킬 가능성이 높음으로 이에 대한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

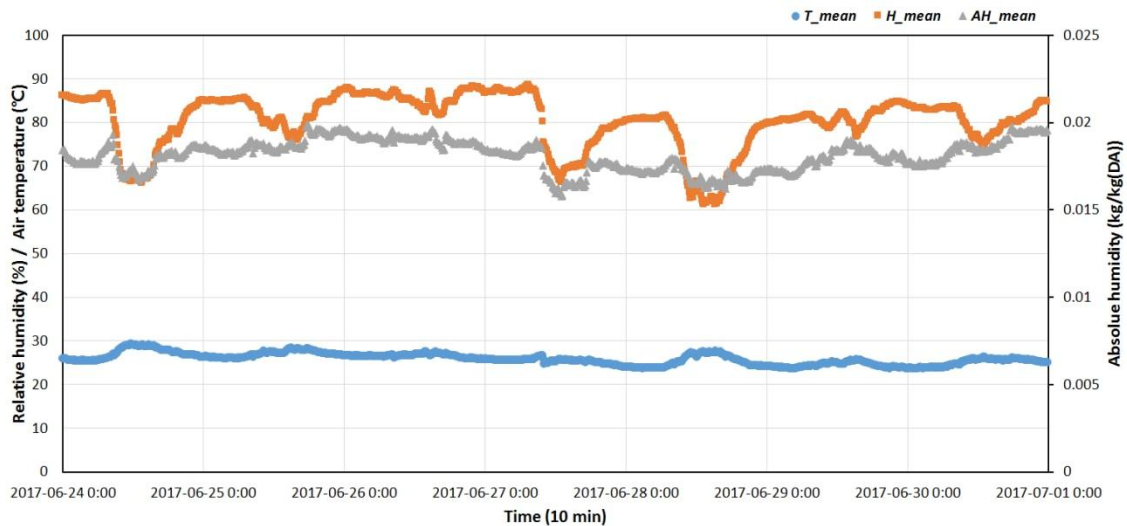


그림 3-1-37 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.06.25.~2017.06.30.)

다음 그림 3-1-38는 비육돈사 내 7월 1일부터 7월 5일까지의 온도, 습도 분포를 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이 온습도의 일변화는 유사한 패턴을 나타냈다. 그러나 7월 2일과 3일의 경우에는 일출 직후에도 온도 상승의 속도가 느리고 습도의 증가 속도가 느리게 나타났으며, 이는 2일의 경우 새벽 4시 경부터 내린 비로인하여 일출직후의 온도가 25~27°C 다른 날과 비교하여 상대적으로 높지 않았고 비육돈사 내부의 온도 분포도 낮게 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 비육돈의 적정 생육온도를 고려하면 부적절한 온도이며 하절기로 분류되는 시점에서 열적 스트레스로 인한 비육돈의 음수량 증가 및 사료섭취량 감소가 예상 된다. 따라서 생육 적정온도를 21°C의 권고 기준치로 설정해줄 필요가 있다. 또한 습도의 경우에는 설정온도가 26°C임을 고려하였을 때 환기팬의 가동이 지속적으로 이루어짐에 따라서 외부 공기의 습도가 비로 인하여 70~80%를 형성되기 때문에 비육돈사 내부에서는 비육돈에 의한 음수량의 증발량 및 비육돈 수분발생량으로 인하여 비육돈사 내부에서는 외부 공기의 상대습도 조건보다는 상회한 분포를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 3일의 경우에도 2일과 유사하게 새벽 4시에 짧은 시간 (30분)동안 내린 비로 인하여 외부공기의 상대습도는 일시적으로 증가하지만 앞서 언급한 바와 같이 짧은 시간 발생한 강우사상으로 전체 외부 공기 및 비육돈사 내부의 공기 특성 변화에는 차이가 발생하지 않았다. 그러나 비가 내리기 이전 새벽시간의 비육돈사 내부의 온도는 약 26°C를 나타내어 새벽에도 환기량이 비교적 높게 발생한 것으로 판단되며 짧은 시간 비가 내렸기 때문에 외부 공기의 습도 증가도 많지 않았기 때문에 비육돈사 내부의 습도는 증가하지 않는 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 13시부터 1시간동안 내린 비로 인하여 하루중 가장 더운 시간의 외부 공기의 온도를 27.4°C에서 26.5°C로 약 1°C정도 낮췄기 때문에 비육돈사 내부에도 동시간대에 내부의 온도가 약 0.5°C 감소하였다. 또한 비로인하여 외부 공기의 상대습도는 3% 상승하였고 하루 중 가장 공기온도가 높은 시간에는 환기량 또한 많이 때문에 비육돈사 내부의 습도의 증가 원인이 되었다. 최근에는 일출직전에도 외부의 공기온도가 높고 비육돈사 내부의 온도가 증가하여 환기량이 증가하여 내부의 습도는 사육 적정 기준치

와 비교하여 높기는 하지만 일출직전까지 증하는 하는 경향은 보이지 않았다. 그러나 4일의 경우에는 일출 직전 04시부터 내린 비로 인하여 외부의 공기온도가 24.5°C 정도 유지 되었으며 비육돈사의 설정 온도보다 낮았기 때문에 환기량이 적었기 때문에 비육돈사 내부의 상대습도가 증가하였다. 그러나 기본적으로 비가 내릴 경우에 있어서는 전체적으로 외부공기의 수분량이 많고 환기 시 비육돈사 내부의 수분량 및 상대습도도 증가하는 경향이 있다. 따라서 상대습도에 있어서 적정 사육 기준에 부합되도록 비육돈을 키우기가 한계가 있으며 이에 대한 제습 대책이 필요할 것으로 판단된다.

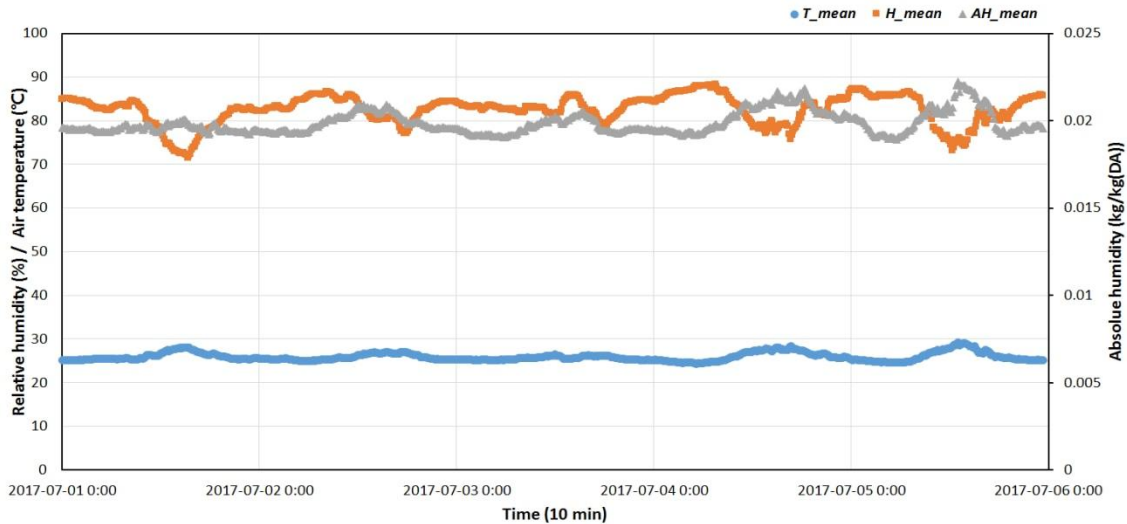


그림 3-1-38 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.07.01.~2017.07.05.)

다음 그림 3-1-39는 비육돈사 내 온습도 시계열 분포를 나타낸다. 7월8일 00시부터 외부공기가 약 25°C로 매우 높게 형성되는 것으로 나타났으며 그 결과, 비육돈사 내부의 온도 환경 역시 27.2°C를 상회하는 온도분포를 나타냈다. 외부공기의 상대습도는 약 90%정도로 일출직후에도 유지 되었으며 비육돈사 내부 온도를 고려했을 때 환기량은 많음에도 불구하고 외부 공기 상대습도 및 비육돈사 내부 높은 온도로 인한 비육돈의 음수량, 분뇨, 비육돈 자체의 수분 발생량이 증가하여 지속적으로 상대습도가 증가한 것으로 판단된다. 정오 무렵에는 일사의 영향으로 외부 공기의 온도가 최대 약 30°C까지 상승하고 상대습도가 약 70%까지 감소함에도 비육돈사 내부의 온도 및 습도 분포 역시 외부 공기 특성에 수렴하였다. 그러나 오후 4시부터 10시까지 지속적으로 내린 비로 인하여 외부 공기의 상대습도가 지속적으로 증가하여 90%에 육박하지만 비육돈사 내부의 상대습도는 90% 이상으로 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이는 강우로 인하여 외부 공기의 온도가 25°C로 낮아지고 일사에 의하여 전도되는 열량이 현저하게 감소하기 때문에 환기량이 감소했기 때문으로 판단된다. 즉, 금주의 경우에는 현저하게 상승한 외부 공기의 온도 및 전도열전달로 인하여 비육돈사 내에서는 주야간 구분 없이 28°C 이상의 온도 분포가 형성되었다. 따라서 이를 제어하기 위한 환기 운영이 이루어지기 때문에 비육돈사 내외부의 공기 교환량이 증가하여 비육돈사의 내부 온, 습도 환경이 외부 공기 특성과 유사하였다. 그리고 12일의 경우에는 비육돈사 내부 온도가 33.3°C까지 상승하기 때문에 환기량이 증가하여 거의 외부 공기 특성과 유사하게 온도 33°C 상대습도 60%까지 감소하다가 일사가 약해지는 시점부터 점차적으로 비육돈사의 온도가 감소하고 상대습도가 증가하였다.

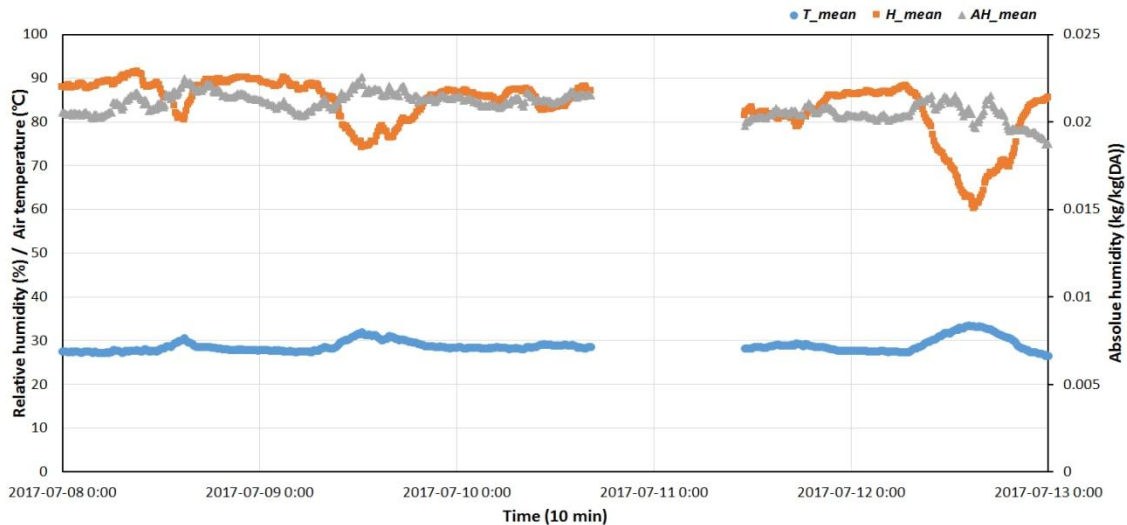


그림 3-1-39 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.07.08.~2017.07.12.)

다음은 7월17일부터 23일까지의 5일간의 비육돈사 내부에서의 온도 및 습도에 대한 시계열 데이터를 나타낸다 (그림 3-1-40). 00시 무렵 외부의 온도는 27°C에서 일출직전 24°C까지 감소함에 따라 외부 공기의 상대습도가 약 90%까지 상승하는 것을 확인 할 수 있으며 이와 동시에 비육돈사 내부의 온도는 28.3°C에서 일출직전까지 비육돈사 내부의 온도는 26.9°C까지 감소하지만 비육돈사에서 운영되고 있는 환기 설정온도가 26°C이기 때문에 비육돈사 내외부의 공기 교환량이 많이 때문에 동절기와 다르게 하절기에는 외부 공기 상대습도와 유사하게 형성되는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 일출이후에는 외부 상대습도 변화 및 환기량에 의한 풍속 증발량이 증가하기 때문에 비육돈사 내부에 상대습도가 급격하게 감소하는 것을 할 수 있다. 또한 기존의 돈사 환기 운영조건에서 비육돈사 내부의 온도가 33°C에서 환기 시에는 외부 공기의 공기 특성에 따라 상의하기는 하지만 유사한 상대습도 조건에서는 비육돈사 내부의 상대습도가 63%까지 감소하였으며 내부 온도가 31°C에서는 73%까지 상대습도가 형성되는 것을 확인 할 수 있다. 비육돈사의 내부 온도가 증가할수록 돈사 내부의 환경 조절을 위한 환기량이 증가함으로 내부 상대습도 또한 감소하였다. 이러한 경향은 5일간의 측정기간 동안 동일하게 나타났으며 22일에는 비육돈사의 내부 온도가 34.8°C를 나타내고 상대습도는 55%를 나타냄에 따라 적정 사육 기준치를 고려하면 사육온도에 있어서 과도하게 형성되는 것을 확인 할 수 있으며, 상대습도는 적정 수준보다 약 5% 더 건조한 상태로 유지되었다. 내부온도가 34.8°C로 형성되어 비육돈사의 환기량이 증가하기 때문에 시간에 따라 내부온도는 더 감소하나 현재 비육돈사 내 비육돈은 증가한 환기량으로 인하여 내부의 공기 유속이 증가하여 비육돈의 체감온도를 낮추는 효과를 보고 있는 것으로 판단된다.

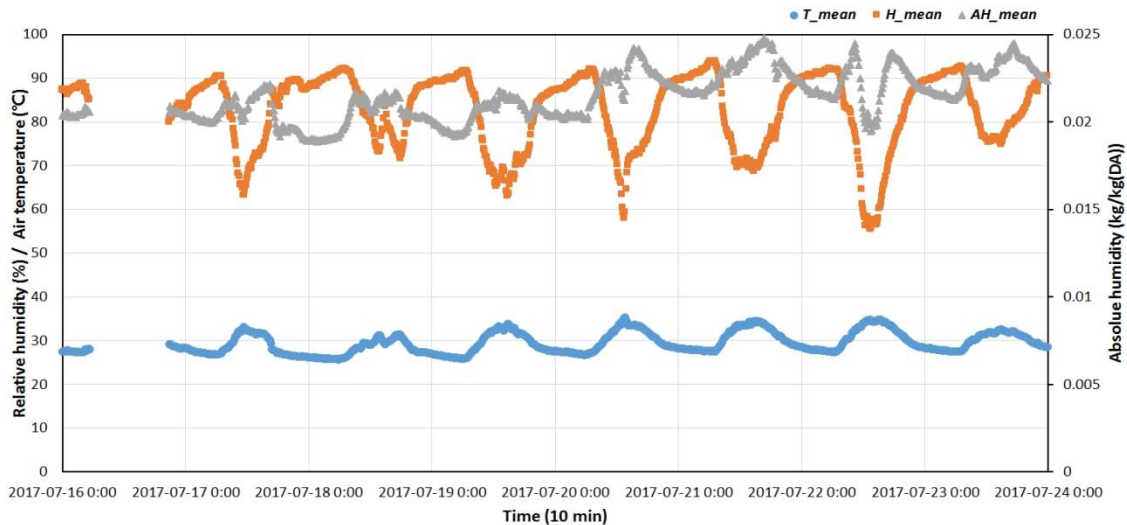


그림 3-1-40 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.07.17.~2017.07.23.)

다음은 7월 24일부터 31일까지의 비육돈사 내 온도, 습도 시계열 데이터를 나타낸다 (그림 3-1-41). 외부 온도는 00시 기준 27.5°C로 비육돈사 내부에는 지속적으로 공기 교체가 발생함에도 돼지 자체 발열량 및 내부 장치 발열량으로 인하여 이보다 다소 높은 28.5°C 정도의 온도 분포를 나타냈으며, 외부 공기온도가 감소함과 동시에 비육돈사 내부의 온도도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 습도의 경우에는 반대로 일출직전까지 증가하는 경향을 나타내고 있으며 지속적인 환기 발생으로 비육돈사 내부의 상대습도는 증가하였다. 25일의 경우에는 시간에 따른 일반적인 일변화 경향을 나타냈으나 오전 9시 40분경부터 11시 20분까지 내린 비로 인하여 상대습도가 일출직후임에도 불구하고 일시적으로 증가하는 동시에 외부 공기온도 및 비육돈사 내부의 온도도 감소하는 것을 확인할 수 있으며 비가 그친 후에는 다시 외부의 공기온도가 33.1°C로 오르고 이로부터 비육돈사 내부의 최대온도는 33.6°C를 나타냈다. 그리고 25일 일몰직후부터 26일 일출직전까지 지속적으로 증가해야하지만 본 실험 기간 동안에서는 상대습도가 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 환기량이 증가하여 비육돈사 내부에서의 공기 유속이 증가하고 공기 중의 절대습도 약 $5\text{g kg}(\text{da})^{-1}$ 감소했기 때문으로 판단된다. 31일의 경우에는 12시부터 16시 사이의 외부 공기온도와 습도가 비교적 일관적으로 유지되기 때문에 비육돈사 내부의 온습도 특성도 일관적으로 형성되는 것을 확인할 수 있다.

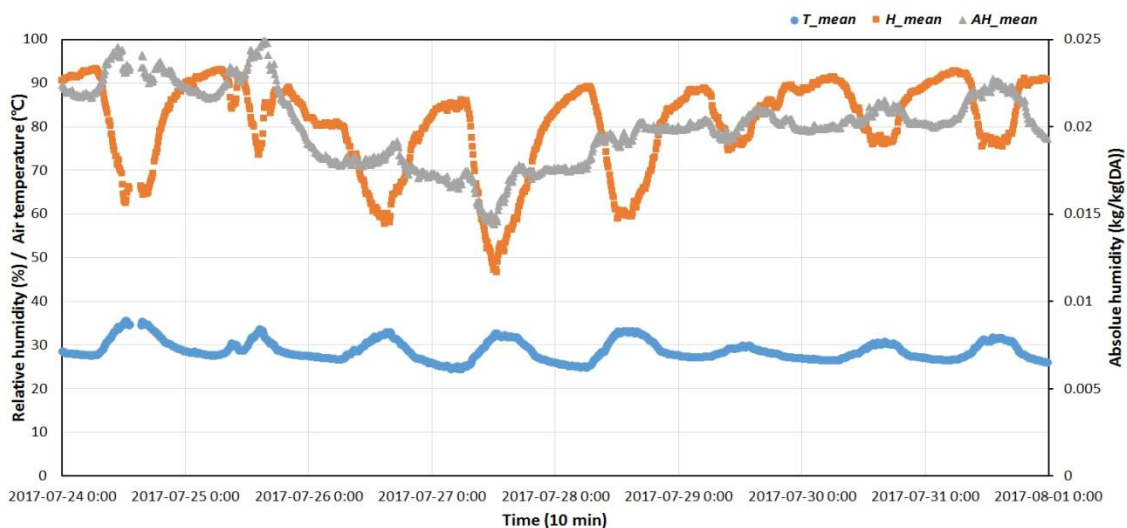


그림 3-1-41 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열

분포 (2017.07.24.~2017.07.31.)

7월31일 18시부터 21시까지 내린 비로인하여 90% 가까운 외부 상대습도가 유지되었으며 새벽시간 온도가 22.5°C정도로 형성되어 환기량이 적기 때문에 비육돈사 내부의 온도 감소는 적게 발생하였으며 그결과 상대습도가 증가하는 것을 확인할 수 있다 (그림 3-1-42). 그리고 일출 직후에는 일사의 영향으로 인하여 온도가 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있으며 그와 동시에 상대습도가 감소하기 때문에 비육돈사 내부의 상대습도 또한 감소하였다. 또한 8월1일부터 7일까지의 비육돈사 내부의 최고 온도는 점차적으로 증가하는 것으로 확인할 수 있으며 상대습도는 점차적으로 감소하였다. 이때 7일의 경우에는 비육돈사 내부의 최대온도는 36.5°C까지 증가하고 최대 50%까지 낮게 형성되었다. 비육돈사 내부의 온도가 과도하게 형성되어 환기량을 증가시켜야하지만 이는 공기 유속 증가로 비육돈의 체감온도를 낮추는 역할을 할뿐 근본적으로 비육돈사 내부의 온도가 감소하지 않고 비육돈사 외부의 온도 보다 유사하거나 다소 높게 형성되었다. 따라서 공기 유속에 의한 체감온도 저감 대책의 경우에는 근본적인 문제 해결에 어려움이 있으므로 이에 대한 쿨링패드 및 가습기 등에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

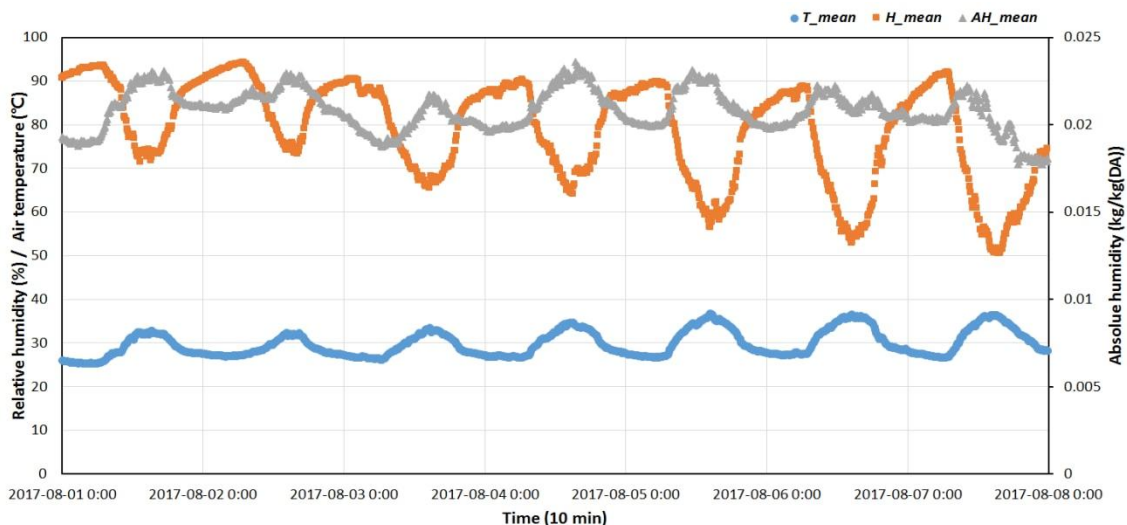


그림 3-1-42 경남 하동군 바른농장 내 비육돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.08.01.~2017.08.07.)

그 외 기간에 대해서는 돈사 내부의 온도 및 습도 변화에 있어서 외부 공기온도 변화에 따라 그 정도의 차이는 발생하였지만, 이전 실험 기간과 동일한 변화 경향을 나타냈으며, 다음 그림 3-1-43와 같다.

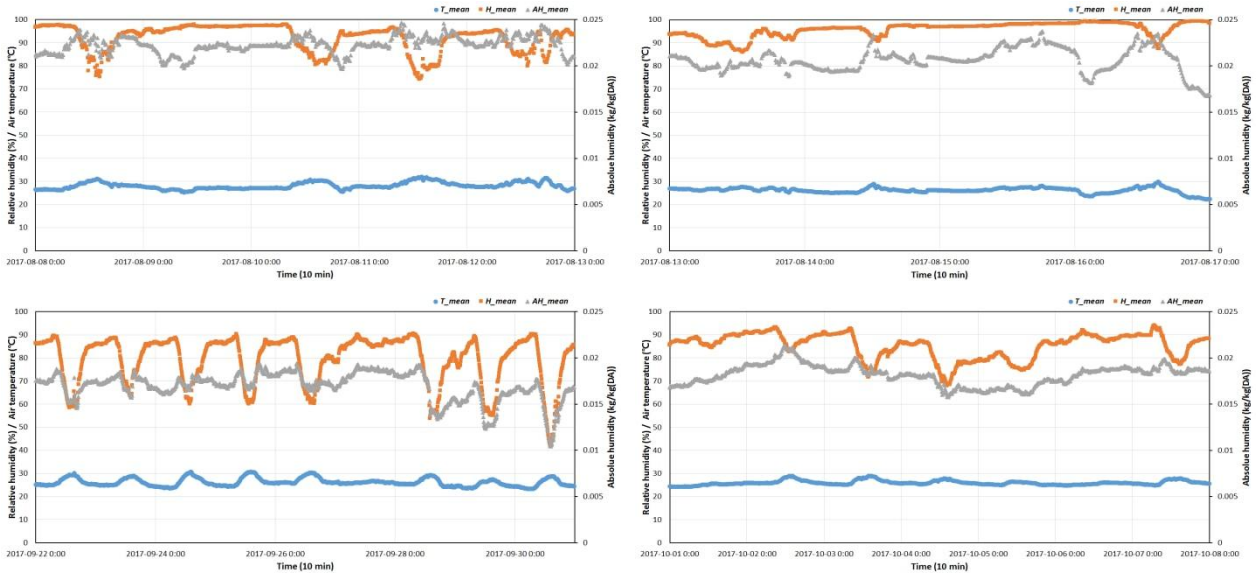


그림 3-1-43 경남 하동군 바른농장 내 비옥돈사 내부의 10분 평균온도, 상대습도, 절대습도의 시계열 분포 (2017.08.08.~2017.10.08.)

3.2.1 육계사 내 가스 및 분진 모니터링

1) 2017년 4월 18일 (6일령) 실험 결과

4월 18일 시행된 6일령 분진 및 가스 농도 측정 실험은 오전 약 10시 10분부터 오후 6시까지 진행되었다. 장시간 가스 농도의 측정 지점은 온습도 센서 2, 5, 6, 9, 12번과 동일하다 (그림 3-2-1, 그림 3-2-2). 실시간 정은 약 10시 20분 경 시작하여 온습도 측정 지점과 동일한 13개 지점에서 각각 20분 이상 시행하였다. 통계 분석시 동일 시간에 측정된 자료간의 비교를 위하여 모든 위치별 측정 데이터를 1분 간격으로 평균을 산정하였다. 실험 기간의 시간에 따른 내부 평균 온도 및 상대습도의 추이는 다음 그림 3-2-3, 그림 3-2-4와 같다.



(a) 육계사 내부에서의 분진 측정



(b) 육계사 내 가스 측정을 위한 기기 설치



(c) 육계사 내부에서의 분진 및 가스 측정기기



(d) 환기 운영 변화 모니터링

그림 3-2-1 1주령 육계사 내부의 분진 및 가스 측정



그림 3-2-2 대상 계사 내부 온습도 센서 설치 위치

실험 당일 사육 초기 높은 사육 적정 온도 조건을 충족시키기 위하여 내부에 온풍기가 가동되고 있었다. 모니터링 결과 실험 당시 내부 평균 온도는 29.0°C, 평균 상대습도는 73.3%로 산정되었다. 약 오후 1시 경 이후 시설 내부의 온도와 상대습도는 일정한 주기로 진동하는 경향이 관측되었다. 온도와 상대습도는 시간에 따른 상승과 하강이 반대로 나타났으며, 이는 온도 변화에 의하여 포화수증기압이 변화함에 따라 상대습도에 영향을 주었기 때문으로 분석된다. 대상시설의 외부에 설치한 온습도 센서의 모

니터링 결과는 이와 상반되는 경향을 나타내었다. 4월 18일 관측된 외부 온도는 12시 경 약 20°C로 최대를 기록했으며, 이후 시간에 따라 완만하게 감소하였다. 시설 운영 자료의 분석 결과 실험 당시 대상 시설의 환기량은 낮 시간 동안 내부 온도 조절을 위하여 1,800 CMH (level 1)로 낮은 수치를 유지하였다. 실험 당시 오후 1시부터 약한 강우가 발생하였다. 강우로 인하여 온도가 낮은 외기가 유입됨에 따라 시설 내부의 온풍기가 일정 주기로 가동되었다. 따라서 내부 온도 변화에 대한 외부 온도의 영향은 매우 낮았으며, 온도 및 상대습도의 변동성은 온풍기의 가동 주기의 영향이 지배적인 것으로 분석된다.

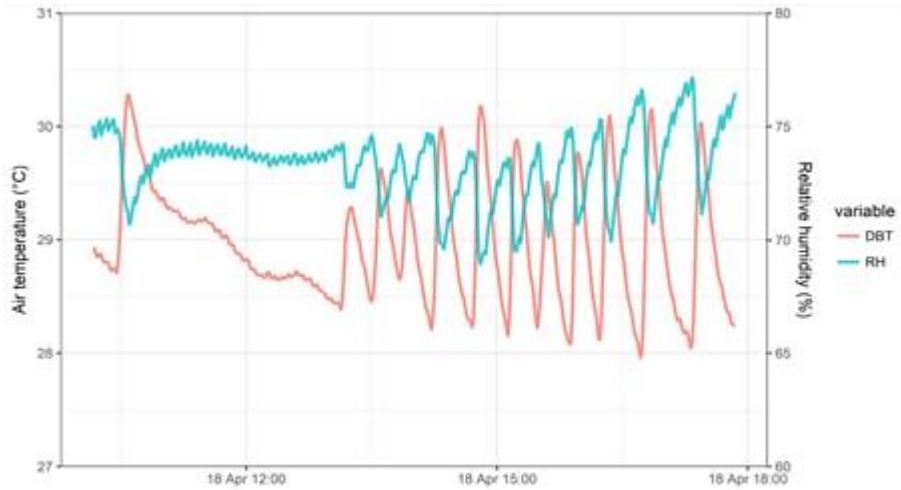


그림 3-2-3 육계사의 6일령 내부 온도 (DBT) 및 상대습도 (RH) 모니터링 결과

암모니아와 이산화탄소 농도는 10시 10분 측정 시작 후 12~1시까지 지속적으로 측정하였으며, 이는 해당 기간의 온도 변화 경향과 유사하다. 1주령의 높은 적정 온도 조건을 유지하기 위하여 야간과 오전에 최소 환기를 시행함에 따라 시설 내부에 축적되었던 유해가스가 환기량이 증가함에 따라 배기되는 것으로 판단되었다. 오후 1시 이후 시설 내부 암모니아 농도는 일정하게 유지되지만 이산화탄소 농도는 점진적으로 증가하는 경향이 나타났다 (그림 3-2-4). 오후 1시 이후 이산화탄소의 농도 변화는 온도 변화와 경향이 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 따라서 온풍기에서 발생한 이산화탄소가 영향을 주었을 것으로 추측된다.

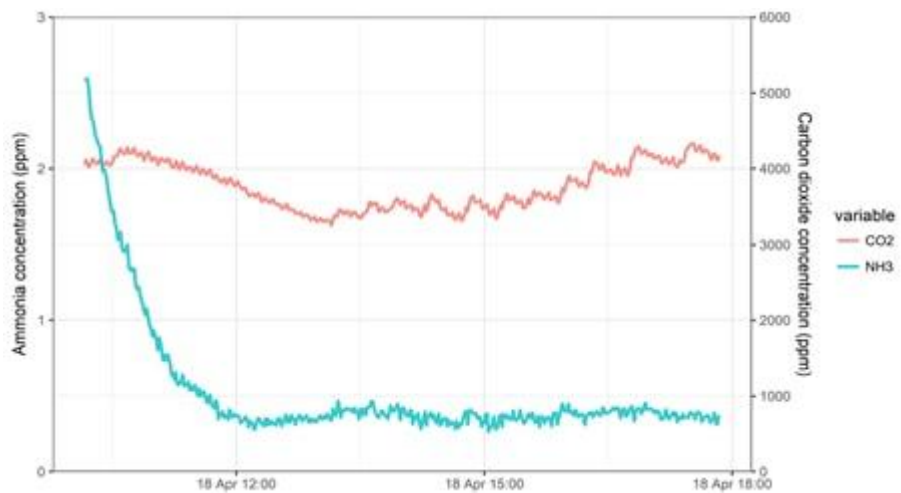


그림 3-2-4 육계사의 6일령 암모니아 및 이산화탄소 농도 모니터링 결과

해당 사육기간 동안 6일령 육계를 대상으로 수행한 현장실험의 경우 15일령과 29일령에 시행한 현장

실험과 달리 실험 시작 시기부터 오후 4시 40분경까지 한 차례 분진 농도 모니터링을 실시하였다. 내부 분진의 농도는 측정 시작 이후 12시까지 감소하는 경향을 나타냈으나 오후 1시 이후 다시 증가하였으며, 온도 및 가스 농도와 경향이 크게 일치하지 않았다 (그림 3-2-5). 이는 환기의 시행에 따른 배출 외에도 육계의 활동성, 바닥재의 흡수비의 영향을 받는 분진의 특성 때문으로 추측된다.

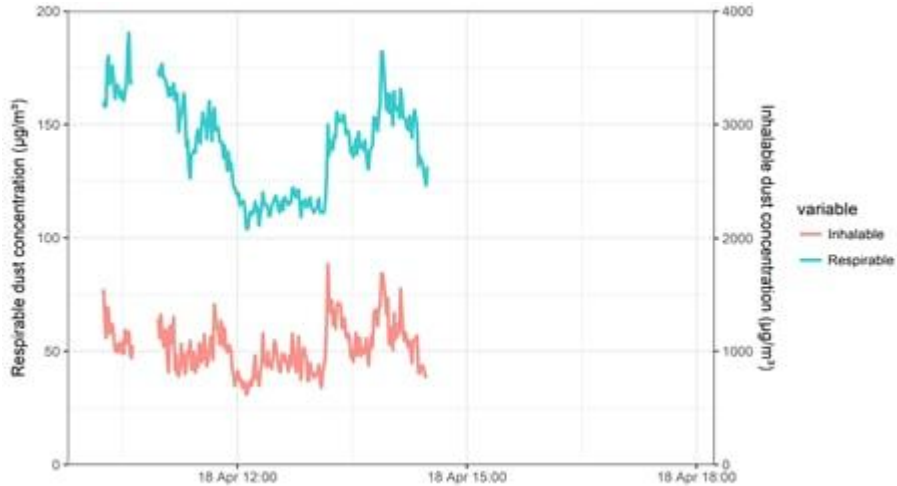


그림 3-2-5 육계사의 6일령 흡입성 및 호흡성 분진 농도 모니터링 결과

상관관계분석의 대상 변수는 현장실험을 통해 측정한 온도 (DBT, °C), 상대습도 (RH, %), 환기량 (Ventilation rate, CMH), 이산화탄소 농도 (CO₂, ppm), 암모니아 농도 (NH₃, ppm), 흡입성 분진 (Inhalable dust, µg m⁻³), 호흡성 분진 (Respirable dust, µg m⁻³)이다. 그림 3-2-6는 변수들 간의 관계를 시각적으로 표현하기 위하여 산점도와 더불어 선형회귀선과 95% 신뢰구간을 도시하였다. 6일령의 현장실험 기간 대상시설의 환기량은 줄곧 1,800 CMH을 유지하였다. 따라서 환기량과 타 변수 간의 상관관계는 분석이 불가능하였으며, 상관계수는 NA로 표시하였다.

분석 결과 오염물질 중 암모니아와 흡입성 분진, 호흡성 분진의 농도는 대부분 왼쪽으로 치우친 종형 분포를 띄고 있었다. 그러나 이산화탄소의 경우 최대치가 두 영역에서 형성되었다. 실험 당시 환기량은 일정한 양이 유지되었으며, 외부 이산화탄소의 농도 역시 시간에 따라 일정하게 유지되었을 것으로 추측된다. 따라서 이산화탄소의 농도 분포는 육계사 내부의 온풍기가 미가동하는 경우 (약 3500ppm)와 가동하는 경우 (약 4200ppm) 두 영역에 최대치가 나타난 것으로 분석된다. 대부분의 경우 암모니아의 농도는 5ppm 이하로 측정되었다. 이는 사육 초기 바닥재에 축적된 분뇨의 양이 적었기 때문이며, 암모니아 농도 분포는 극단적으로 왼쪽으로 치우쳐있음을 볼 수 있다. 오염물질과 온도, 상대습도 간의 관계는 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 사육 초기 오염물질의 발생량이 상대적으로 낮기 때문에 사료된다. 호흡성 분진 농도와 온도 간의 상관계수가 0.515로 가장 높은 값이 산정되었다. 호흡성 분진의 농도는 또한 흡입성 분진 (상관계수 0.567), 이산화탄소 (0.527), 암모니아 (0.567) 농도와 양의 상관관계가 분석되었다. 온도의 변화에 따른 육계의 활동성 변화, 혹은 다른 요인에 의한 오염물질의 발생량 변화에 의하여 이러한 상관관계가 형성되었을 가능성이 있다. 호흡성 분진은 상대적으로 작은 입경으로 인하여 공기 유동과 환기를 통한 제거 효과가 낮은 것으로 알려져 있다. 따라서 계사 내 호흡성 분진의 저감 방안 도출을 위하여 발생 매커니즘 규명과 이러한 환경변수 및 육계의 활동성과의 연관성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 육계사의 바닥재는 이산화탄소와 암모니아의 공통적인 발생원이다. 따라서 이산화탄소와 암모니아 모두 발생량 및 시설 내부 농도가 바닥재의 흡수비, 온도, 축적된 분뇨의 양 등의 영향을 받을 것으로 추측 가능하다. 그러나 6일령의 가스 농도 측정 결과 두 기체의 농도간 상관계수는 0.443으로 다소 낮은 값이 산정되었다. 대상 계사는 4차 사육 기간이 시작되기 전 바닥재를 교체하였으며, 6일령 실험 당시 바닥재 내에 축적된 분뇨는 적은 수준이었다. 따라서 바닥재에서 낮은 가스

발생량과 온풍기에 의한 이산화탄소 발생에 의하여 두 가스 농도 간 낮은 상관계수가 산정된 것으로 분석된다.

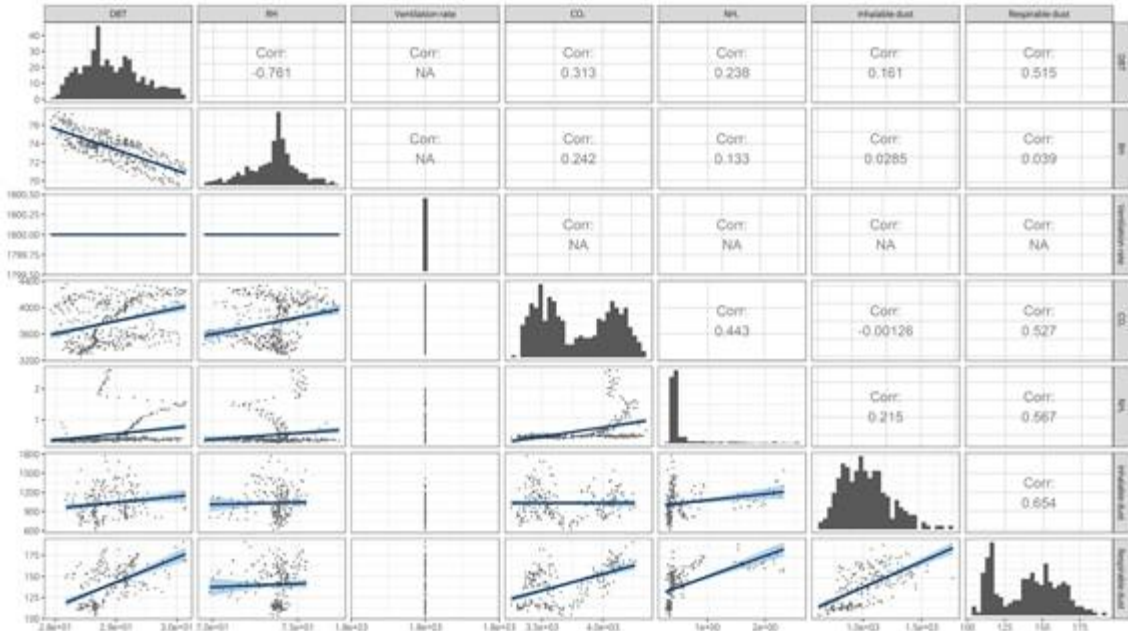


그림 3-2-6 육계사의 6일령 환경 변수 간 상관 분석

2) 2017년 4월 27일 (15일령) 실험 결과

그림 3-2-7는 15일령 육계를 대상으로 시설 내 분진 및 가스 농도 측정관련 현장 실험 당시 시간에 따른 내부 평균 온도 및 상대습도의 추이이며, 환경 모니터링은 오전 약 9시부터 오후 4시 50분까지 수행되었다. 대상시설의 환기 시설과 온풍기는 내부 공기온도를 기준으로 제어되기 때문에 육계 높이에서의 평균 온도는 최소 25.1°C에서 최대 26.4°C 범위 내에서 주령별 적정 사육온도에 비교적 잘 유지되었다. 그러나 시설 내부 열의 보존을 위해 최소환기를 시행하는 야간에 수분이 축적됨에 따라 내부 상대습도는 현장실험 시작시 최대 66.7%로 측정되었다. 이후 환기량이 증가함에 따라 시설 내부의 수분이 배기되어 약 오후 3시 경 상대습도는 최소 40.7%까지 하락하였다. 6일령 당시 측정 결과 시설 내부의 온도와 습도는 명확한 음의 상관관계를 나타냈다 (상관계수 -0.761). 그러나 15일령의 모니터링 결과 내부 온도와 상대습도의 상관계수는 -0.325 로 분석되었다.

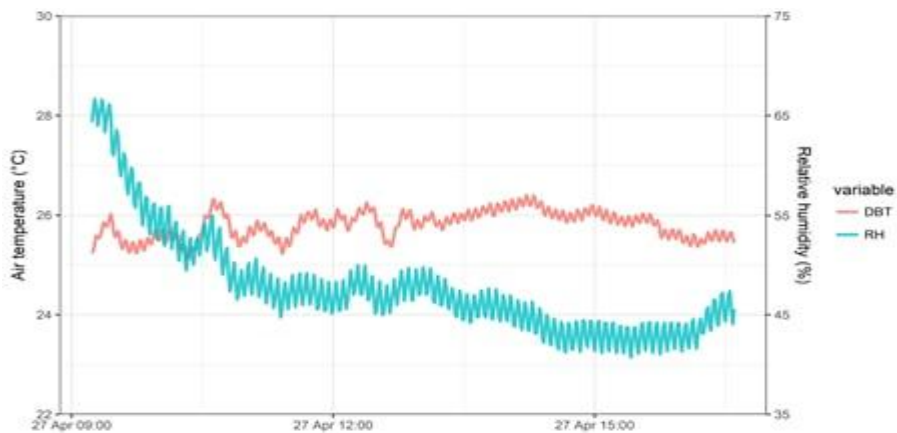


그림 3-2-7 육계사의 15일령 내부 온도 (DBT) 및 상대습도 (RH) 모니터링 결과

그림 3-2-8은 시간에 따른 암모니아 및 이산화탄소 농도의 측정 결과이며, 그림 3-2-9은 분진 농도의 측정 결과이다. 암모니아 및 이산화탄소 농도의 경우 6일령 측정치와 비슷한 경향을 나타냈다. 실험을 시작 한 오전 9시 반에 암모니아 농도는 3.5~4.0ppm, 이산화탄소 농도는 2,500ppm 가량으로 가장 높았으나, 이후 환기량의 증가에 따라 점차 감소하여 12시에 이르러 안정화 되었다. 실험 기간의 평균 암모니아 농도는 1.72ppm으로, 육계의 성장과 바닥재에 축적된 분뇨의 증가에 의하여 암모니아 농도는 6일령 (평균 0.53ppm)에 비해 높은 수준이 측정되었다. 그러나 평균 이산화탄소 농도의 경우 1,699ppm으로 산정되었으며, 이는 6일령 평균 농도인 3,777ppm보다 낮은 수치이다. 6일령 실험 당시 내부 온도를 조절을 위한 온풍기의 사용과 최소 환기에 의하여 내부에 이산화탄소가 축적되었기 때문으로 분석된다. 분진 농도의 경우 6일령 측정 결과와 마찬가지로 다른 변수들과 시간에 따른 경향이 일치하지 않는 것으로 나타났다. 평균 분진 농도는 흡입성 분진과 호흡성 분진이 각각 $1,881 \mu\text{g m}^{-3}$, $339 \mu\text{g m}^{-3}$ 로, 6일령 평균의 1.82, 2.42배 수준으로 산정되었다.

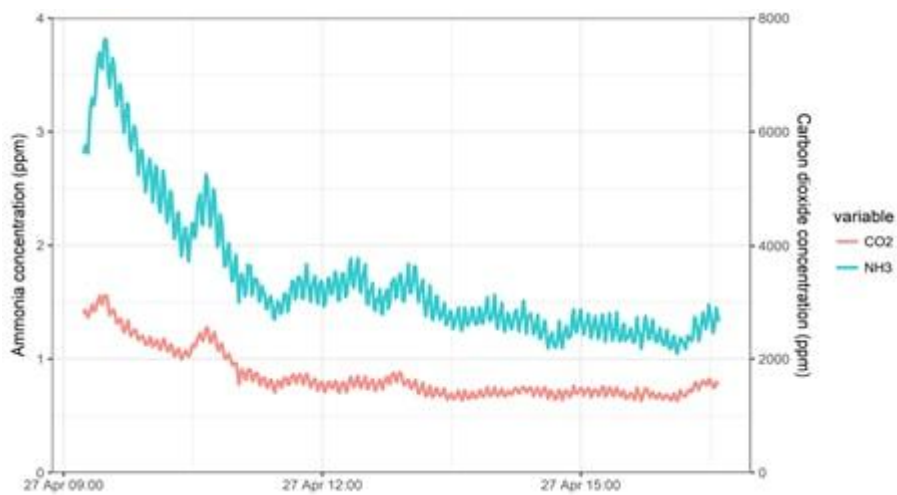


그림 3-2-8 육계사의 15일령 암모니아 및 이산화탄소 농도 모니터링 결과



그림 3-2-9 육계사의 15일령 흡입성 및 호흡성 분진 농도 모니터링 결과

각 변수 간 상관관계를 분석한 결과, 6일령 측정치와는 달리 시설 내부 온도와 상대습도의 상관계수는 -0.325로 낮은 수치가 산정되었다. 암모니아와 이산화탄소의 경우 내부 상대습도와의 상관계수가 모두 0.887로 산정되어 뚜렷한 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 수증기와 암모니아, 이산화탄소의 경우 육

계의 성장과 바닥재에 섞인 분뇨의 증가로 인해 발생량이 증가하였으며, 공통적으로 발생량이 공기 중 농도의 영향을 받기 때문에 유사한 경향이 나타난 것으로 추측된다. 그러나 흡입성 및 호흡성 분진의 농도는 6일령과 마찬가지로 타 변수들과 상관계수가 0.2 미만으로 매우 낮은 수준이었다. 분진의 경우 6일령에 비하여 농도가 증가하긴 하였으나, 주요 발생원은 육계의 표면과 사료이며 주로 육계의 활동성에 영향을 받기 때문에 타 변수와는 상관성이 낮은 것으로 추측된다.

3) 2017년 5월 11일 (29일령) 실험 결과

4차 사육 기간의 분진 및 가스 농도 측정 실험은 29일령의 육계를 대상으로 5월 11일에 수행되었다. 그림 3-2-10, 그림 3-2-11, 그림 3-2-12은 각각 29일령 실험 당시 시간에 따른 내부 온·습도, 암모니아 및 이산화탄소 농도, 분진 농도이다. 분진 농도의 경우 6일령과 15일령에 비하여 변동성이 크게 증가함에 따라 로그 스케일로 그래프를 도시하였다. 이전 사육기간 모니터링 결과와 마찬가지로 내부 온도와 상대습도는 서로 반비례하는 경향이 관측되었다. 약 오전 10시 30분 이전 내부 온도는 일정 주기로 1°C 이상 진동하는 것으로 모니터링 되었다.

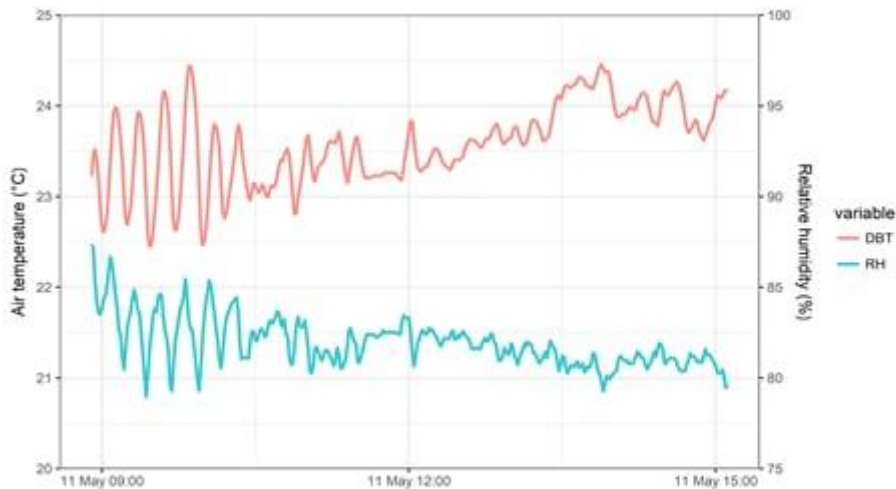


그림 3-2-10 육계사의 29일령 내부 온도 (DBT) 및 상대습도 (RH) 모니터링 결과

표 3-2-1는 일령에 따른 오염물질의 평균 농도와 표준편차를 산정한 결과이다. 오염물질의 평균 농도와 변동성은 일령이 증가함에 따라 꾸준히 상승하였다. 암모니아와 이산화탄소 농도 또한 시간에 따라 뚜렷하게 진동하는 경향이 관측되었다. 시설의 온습도 환경과 가스 환경에 공통적으로 지배적인 영향을 미치는 환기량의 변화가 이러한 경향의 원인으로 분석된다. 대상 육계사의 시설 제어 프로그램을 분석한 결과 15일령의 평균 환기량은 14,900 CMH, 29일의 평균 환기량은 약 119,000 CMH로 산정되었다. 즉 외기온이 낮은 야간에 열을 보존하기 위한 최소환기량과 열·오염물질 배기를 위한 환기량이 교대로 적용됨에 따라 내부 온습도 환경과 가스 환경이 유사하게 변동한 것으로 분석된다.

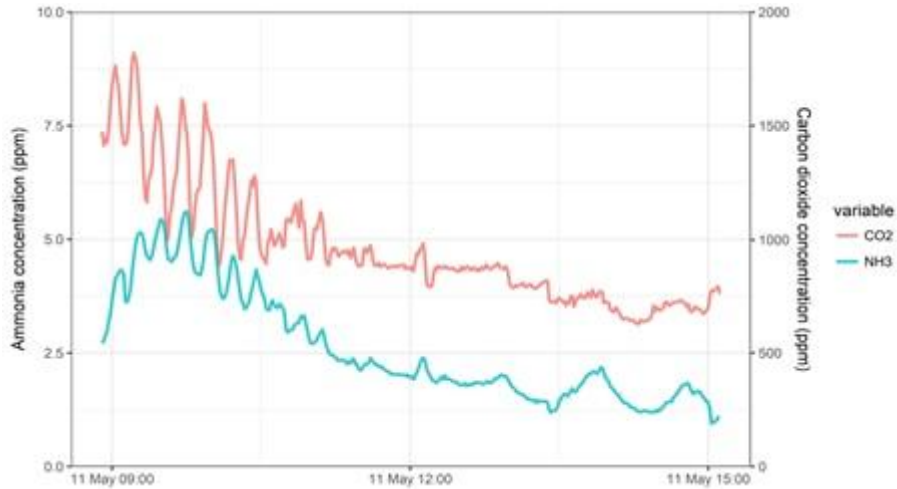


그림 3-2-11 육계사의 29일령 암모니아 및 이산화탄소 농도 모니터링 결과



그림 3-2-12 육계사의 29일령 흡입성 및 호흡성 분진 농도 모니터링 결과

표 3-2-1 육계사의 일령별 오염물질 농도 평균 및 표준편차

일령	암모니아 (ppm)		이산화탄소 (ppm)		흡입성 분진 ($\mu\text{g m}^{-3}$)		호흡성 분진 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
6	0.53	0.435	3,777	309	1,033	216	140	20.8
15	1.72	0.616	1,699	444	1,881	583	339	89.5
29	2.59	1.240	960	270	2,243	1,468	311	175.0

측정 결과 간 상관관계의 분석 결과, 온도와 환기량을 제외한 측정치들은 대부분 왼쪽으로 치우친 종 형태의 분포가 나타났다. 전술한 바와 같이 환기량과 암모니아, 이산화탄소 농도 간의 상관계수가 각각 -0.852, -0.686으로 산정되어 밀접한 관계가 있는 것으로 분석된다. 또한 유해성 기체의 농도는 시설 내부의 온도와 습도 환경과도 상관계수의 절대값이 모두 0.47 이상으로 산정되었다. 따라서 추후 회귀 분석을 실행하여 상대적으로 측정이 쉬운 온습도 환경과 농장주가 제어하는 환기량을 통한 암모니아와 이산화탄소의 농도의 예측이 가능할 것으로 판단된다. 반면 흡입성 분진과 호흡성 분진의 농도는 이산화탄소 농도 (상관계수 0.7 이상), 암모니아 농도 (상관계수 0.5 이상)와 양의 상관관계를 보였으나 온

습도와 환기량 모니터링 결과와는 뚜렷한 상관관계가 분석되지 않았다. 요약하면, 이산화탄소의 경우 입추 초기에 높은 온도를 유지시키기 위해 유류 열풍기를 이용하기 때문에 이로 인하여 6일령에서 이산화탄소 농도가 비교적 높게 형성되고 차츰 환기량 및 권장 설정온도가 낮아지기 때문에 이산화탄소의 농도도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 건강상의 허용기준은 1000ppm은 초과하는 것으로 나타났으며, 암모니아의 경우에는 바닥재인 왕겨를 매 회전 교체하기 때문에 입추 초기에 낮은 것을 확인할 수 있었다 (그림 3-2-13). 이는 일령이 증가할수록 바닥재에 분뇨에서 발생하는 증발과 외기온도 증가로 인한 환기량 증가로 암모니아 발생량이 증가한 것으로 판단된다. 육계사 내부 분진 농도의 경우에는 호흡성과 흡입성 모두 일령이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 흡입성 분진의 경우에는 15일령 평균적으로 높은 흡입성 분진농도를 나타내는데, 이는 29일령의 닭들은 사육공간에 밀집되어 있기 때문에 바닥면으로 부터 부유되는 4 μm 이하의 입경 분진이 평균적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다. 환절기 육계의 활동 및 배기팬의 가동에 따라 일시적으로 분진에 대한 허용 기준치 (호흡성 분진_가축 : 3.7 $\mu\text{g m}^{-3}$ / 작업자 : 2.4 $\mu\text{g m}^{-3}$, 흡입성 분진_가축 : 0.23 $\mu\text{g m}^{-3}$ / 작업자 : 0.16 $\mu\text{g m}^{-3}$)를 초과하는 것으로 나타났다 (그림 3-2-14).

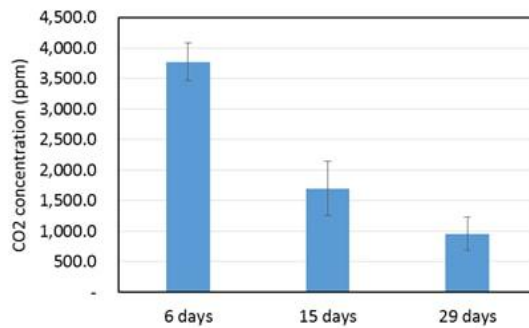


그림 3-2-13 육계의 주령별 축사 내부 암모니아 농도 변화

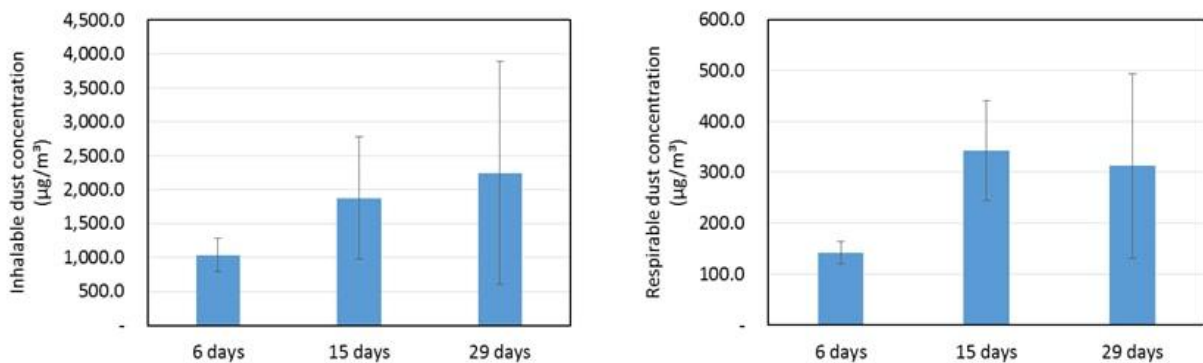


그림 3-2-14 육계의 일령별 육계사 내부 호흡성 및 흡입성 분진 농도 변화

3.2.1 비육돈사 내 가스 및 분진 모니터링

2017년 3월 22일 실시한 비육돈사 내 위치별 암모니아 및 이산화탄소 모니터링 결과는 다음 그림 3-2-15와 같다. 비육돈사 내부의 평균적인 암모니아 농도는 83ppm을 나타냈으며, 일출직후 시간이 경과함에 따라 돈사 내 암모니아와 이산화탄소 농도가 환기량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 암모니아의 경우 허용기준은 25ppm임을 고려하면 대상 비육돈사는 평균 3배 이상 높은 암모니아 분포를 나타냈다. 또한, 지역별로는 복도측에서 측정했던 암모니아 농도는 70ppm 정도 (NH₃_Point_1)로 나타났으며, 배기팬 방향으로 갈수록 암모니아 농도가 높아지는 경향이 나타났다 (NH₃_Point_2: 87ppm, NH₃_Point_3: 92.3ppm). 이는 다른 계절과 달리 환기량이 적기 때문에 배기팬에서 빠르게 축

사 내부의 고농도의 암모니아를 배출하지 못한 결과와 피트 아래 분변관리가 양호하지 못한 결과로 판단된다. 이산화탄소 농도의 경우에도 4,618.6ppm으로 높게 형성되었으며 복도측, 중앙, 배기팬측 순서로 이산화탄소 분포에 대한 표준편차가 크게 발생하였다. 배기팬측에서 농도에 대한 표준편차가 크게 발생하는 것은 가변식 배기팬과 인접해 있어 다른 측정 지점과 비교하여 유동속도가 상대적으로 빠르기 때문으로 판단된다. 또한 측정결과로부터 암모니아와 이산화탄소의 지역별 농도 분포 경향이 다르게 나타났으며 이는 암모니아 (분자량: $17.031 \text{ g mol}^{-1}$)와 이산화탄소 (분자량: 44.01 g mol^{-1})의 가스 특성 (밀도, 등) 차이로 인하여 공기역학적 거동을 달리한 것으로 추측된다. 이산화탄소 허용농도 기준이 1,000ppm을 상회하였으며, 환기량이 적은 낮 동안에는 5,000ppm을 초과함에 따라 가축 및 작업자가 장시간 돈사 내 머무를 경우 두통 증상, 스트레스 등의 건강상의 문제를 초래할 것으로 판단되었다.

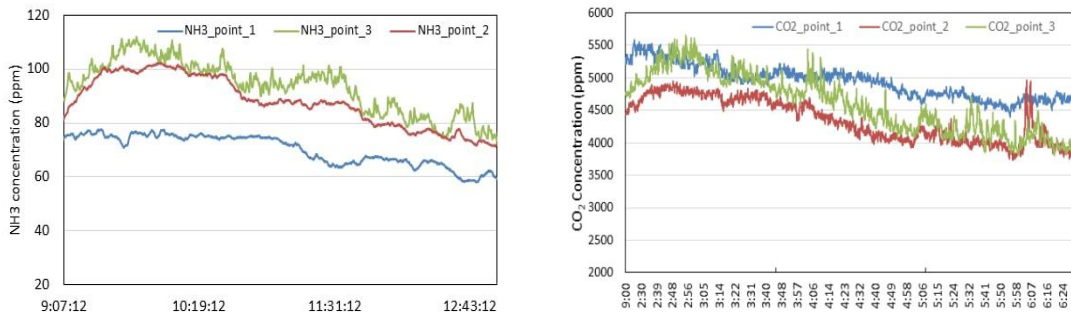


그림 3-2-15 바른양돈 내 비육돈사 내부의 시간에 따른 지점별 암모니아 및 이산화탄소 농도 분포 (2017. 03. 22.)

분진 측정 결과의 경우, 1차 측정 09시의 경우에는 외부의 공기온도가 낮기 때문에 최소환기가 발생하고 있으며, 상대적으로 돈사 내부의 호흡기성 분진 농도가 낮다. 그러나 흡입성 분진의 경우에는 높게 나타났다. 복도측에 농도가 배기팬보다 높게 형성되는 것은 복도측의 비육돈의 사육밀도가 상대적으로 배기팬측보다 높은 것과 환기량이 작은데서 비롯되는 것으로 판단된다 (그림 3-2-16). 호흡성 분진 농도는 기준치를 초과하지 않지만 흡입성 분진 4마이크로 이하의 농도는 기준치를 초과함을 보였다 (그림 3-2-17). 이는 환기량이 적어 작은 입자인 호흡성 분진은 기준치를 초과하지만 흡입성의 경우에는 초과하지 않은 것으로 판단된다. 환기가 잘 이루어지지 않을 경우에는 돼지의 사육밀도가 높은 복도측 근처에서 분진의 농도가 높게 형성되는 것을 알 수 있다. 그러나 환기량이 온도가 증가함에 따라서 증가할 경우에는 점차적으로 부유하고 있는 분진이 복도측 보다는 배기팬측으로 집중됨에 따라 농도가 배기팬측으로 갈수록 높아지는 것을 확인 할 수 있다. 시간이 경과함에 따라 일사량 및 공기 온도 상승으로 인한 환기량이 증가함에 따라 돈사 내부의 분진 농도가 증가한다. 일반적으로 배기팬 근처에서 분진이 집적되기 때문에 분진 농도가 높게 나타나는 뚜렷한 경향을 나타낸다. 온도상승으로 인한 환기량 증가는 돈사 내부의 흡입성 분진농도를 점진적으로 증가시킨다. 그러나 호흡성 분진의 경우에는 입경이 작기 때문에 환기량이 커지면서 돈사 내부 공기 속도가 증가하기 때문에 농도가 감소한 것으로 판단된다.

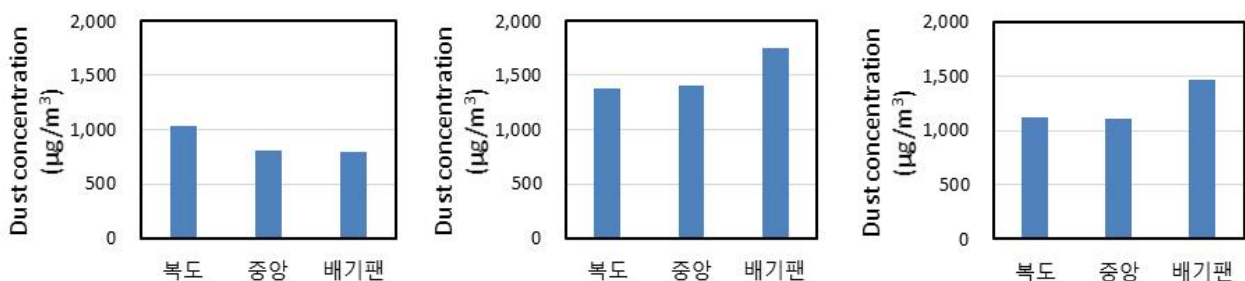


그림 3-2-16 시간 경과에 따른 돈사 내 위치별 흡입성 분진 농도 분포 (1차, 2차, 3차)

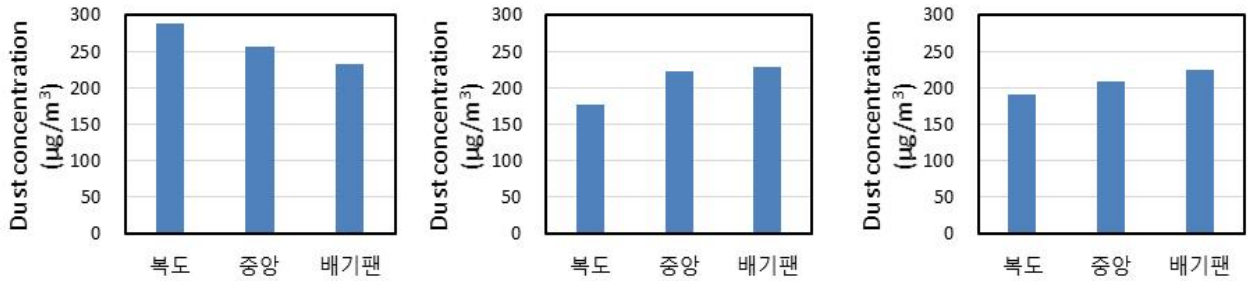


그림 3-2-17 시간 경과에 따른 돈사 내 위치별 호흡성 분진 농도 분포 (1차, 2차, 3차)

다음 그림 3-2-18은 2017년 4월 26일 경남 하동군 바른양돈 내 비육돈사 내부의 위치별 시간별 암모니아 가스 농도 분포에 대한 결과를 나타낸다. 돈사 내부의 전체 평균 암모니아 농도의 경우에는 51.5ppm를 나타냈으며, 지역별로는 복도측 (45.9ppm), 돈사 중앙 (50.3ppm), 배기팬측(58.2ppm)을 나타냈다. 이는 다른 실험일의 경향이 동일하였으며, 입기되는 공기가 배기팬 주변에 집적되는 현상이 발생하기 때문으로 판단된다. 따라서 배기팬 주변의 농도는 중앙부와 복도측의 평균 암모니아 농도보다 약 21% 높은 것으로 측정되었다. 일 최대 암모니아 농도의 경우 지점별로 배기구 주변이 68.7ppm, 돈사 중앙부가 58.0ppm, 복도측이 54.8ppm의 순서로 크게 나타났으며, 이는 비육돈사의 환기구조에 따른 결과로 판단된다. 또한 일출직후 일사량의 영향으로 인하여 내부의 온도가 상승하고 온도 기반으로 제어되는 환기시스템으로 인하여 환기량이 증가함에 따라서 비육돈사 내부의 암모니아 농도는 점차적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 배기팬 주변의 경우에는 공기의 난류성이 증가하기 때문에 암모니아 가스의 농도 변화가 상대적으로 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 유사하게 이산화탄소 분포에 있어서도 복도측에서 배기팬측으로 향할수록 평균 농도값이 증가하는 경향을 나타냈다. 이 때, 복도측 2,666.8ppm, 중앙 2,707.9ppm, 배기측, 3,205.3ppm을 나타냈다. 돈사 내부의 이산화탄소 평균 농도는 2,860.0ppm을 나타냈으며, 이는 일반적인 이산화탄소 허용농도 기준이 1,000ppm을 상회하였다. 따라서 가축 및 작업자에 있어서 장시간 노출시에는 스트레스의 원인이 될 수 있을 것으로 판단되었으며, 이에 대한 대책으로 작업자의 경우 작업시 방독마스크 등의 착용이 필요할 것으로 판단되었었다. 비육돈 사육을 위해서는 근본적으로 환기량을 충분히 설정하지 못하는 문제점을 보완하기 위한 추가적인 기기 및 설비가 필요할 것으로 판단되었었다.

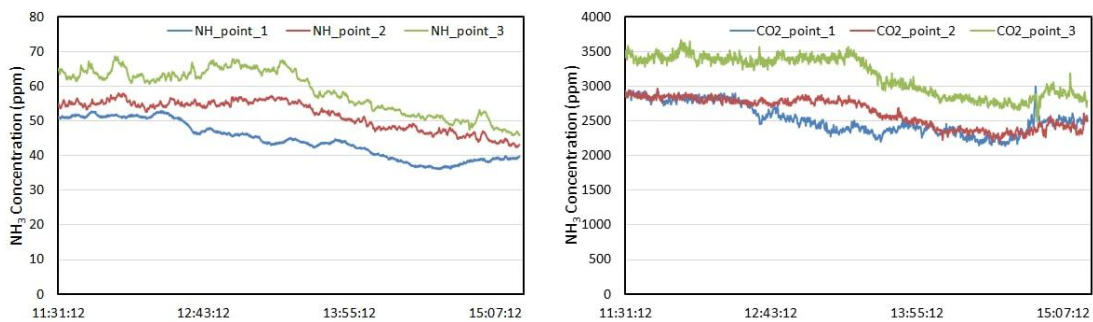


그림 3-2-18 바른양돈 내 비육돈사 내부의 시간에 따른 지점별 암모니아 및 이산화탄소 농도 분포 (2017. 04. 26.)

외부 공기 온도가 높기 때문에 온도 기반으로 제어되는 배기팬의 공기교환량이 증가한다. 일출직전이라고 하더라도 외부의 공기온도가 높기 때문에 환기량이 많다. 따라서 돈사 내부의 분진농도는 매우 낮은 수준으로 형성되며 시간이 경과 후 분진농도는 유사하게 형성된다. 복도측에서 환기가 잘 이루어지

지 않는 시간대의 경우에는 복도측에서의 분진농도가 높게 형성되는 것으로 파악되었다 (1차). 또한 앞선 경향과 유사하게 환기량이 증가할수록 복도측의 농도는 감소하고 배기측에 분진, 가스의 농도가 집적됨에 따라 배기측의 농도가 상승하는 것을 알 수 있다. 그러나 3차 측정 분진 농도의 경우에는 비육돈사 내부의 과도하게 높아진 열환경으로 인하여 비육돈사 내부에 집적된 열을 교환하기 위하여 윈치커튼을 상부에 약 20cm 개방함에 따라 이전에 배기가 배기팬으로 되었던 반면 윈치커튼으로도 배기되는 기류가 발생함에 따라 복도측의 농도가 상승한 것으로 판단된다 (그림 3-2-19, 그림 3-2-20).

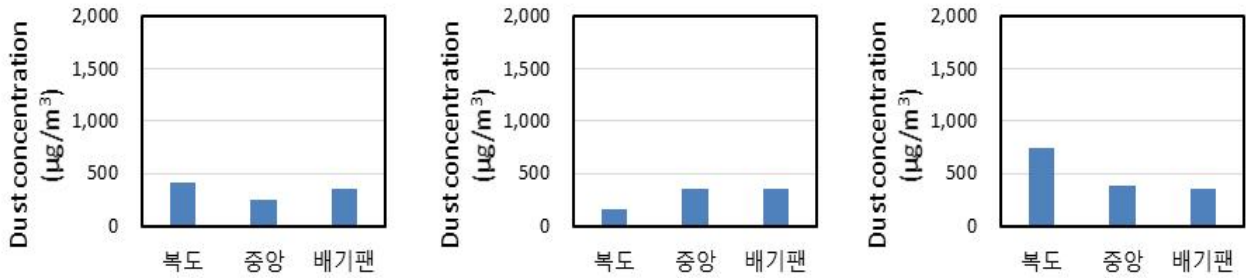


그림 3-2-19 시간 경과에 따른 돈사 내 위치별 흡입성 분진 농도 분포 (1차, 2차, 3차)

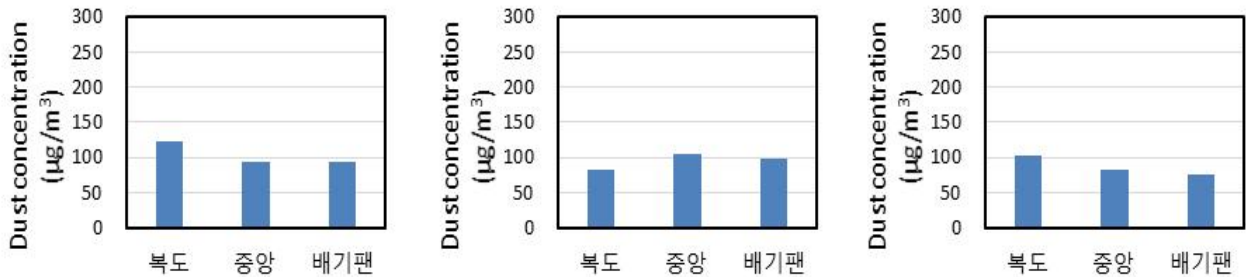


그림 3-2-20 시간 경과에 따른 돈사 내 위치별 호흡성 분진 농도 분포 (1차, 2차, 3차)

다음 그림 3-2-21은 2017년 7월 7일 하동 바른양돈의 비육돈사 내부 암모니아 및 이산화탄소 가스에 대한 시간별, 위치별 모니터링 결과를 나타낸다. 급격하게 증가한 외부 공기의 온도와 비육돈사의 환기시스템은 최대환기가 적용되고 있다. 돈사 내부의 평균 암모니아 농도는 8.3ppm을 나타냈으며, 위치별로는 복도측에서 5.4ppm, 중앙부에서 7.9ppm, 그리고 배기팬 주변에서 11.6ppm의 농도를 나타냈다. 이는 입기덕트를 통하여 유입되는 외부의 신선한 공기가 측벽에 위치한 배기팬을 통하여 배출되는 획일적인 배기류 패턴으로 인하여 배기구 주변에 가스가 집적되고 신선한 공기의 도달량이 적기 때문에 암모니아 농도를 희석하기에는 상대적으로 적게 된 것으로 판단된다. 일 최대 암모니아 농도의 위치도 동일하게 발생하였으며, 복도, 중앙, 배기구측에서의 각각의 최대 암모니아 농도는 8.3ppm, 11.7ppm, 15.6ppm을 나타냈다. 측정기간 동안의 암모니아 농도에 대한 표준편차는 1.45~2.75ppm으로 작은 농도 편차를 나타냈다. 이는 최대환기를 실시하기 때문에 지점별로 크게 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 또한 일반적으로 일출직전까지 환기량이 감소하기 때문에 암모니아 농도가 증가하고 일출직후에는 일사량 및 비육돈의 발열량으로 인하여 환기량이 늘어나 비육돈사 내부의 암모니아 농도가 감소함에도 불구하고 내부 공기의 온도가 높고 환기량이 많기 때문에 시간변화에 따른 암모니아 농도 변화 패턴이 다소 상의한 것으로 판단되었다. NIOSH에서는 작업자 및 가축의 건강에 영향을 미치는 암모니아 농도 (허용노출기준)를 25ppm으로 규정하고 있다. 해당 비육돈사의 경우에는 허용노출기준인 25ppm의 암모니아 농도를 수준 이하로 유지할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

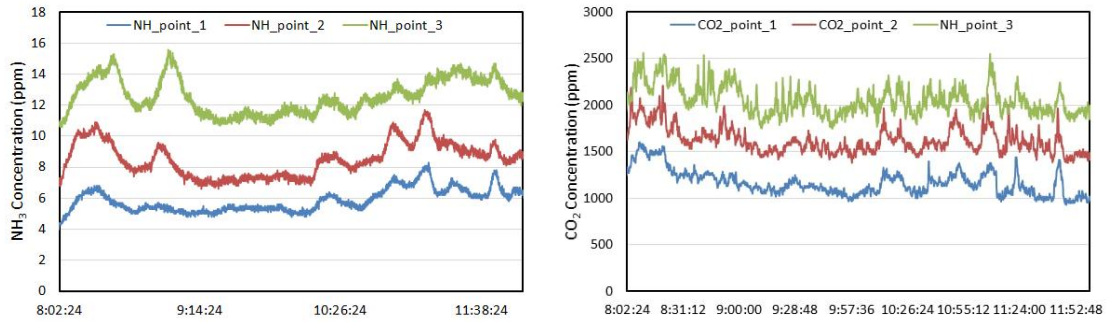


그림 3-2-21 바른양돈 내 비육돈사 내부의 시간에 따른 지점별 암모니아 농도 분포 (2017. 07. 07)

7월7일의 경우에도외부 공기 온도가 높기 때문에 온도 기반으로 제어되는 배기팬의 공기교환량이 증가한다. 그러나 4월26일보다 외부의 공기 온도 상승 및 일사의 영향으로 인하여 돈사 내부의 온도가 상승한다. 따라서 환기량이 더 증가하게 되고 이로 인하여 돈사 내부의 환기량은 4월26일과 비교하여 상대적으로 더 낮아진다. 일출직전이라고 하더라도 외부의 공기온도가 높기 때문에 환기량이 많다. 따라서 돈사 내부의 분진농도는 매우 낮은 수준으로 형성되며 시간이 경과하더라도 분진농도는 유사하게 형성된다. 7월7일의 경우에는 환기량이 매우 높기 때문에 전반적으로 다른 측정일과 비교하여 낮은 농도를 나타내는 것을 확인 할 수 있으며, 낮은 농도로 인하여 시간, 공간에 따른 뚜렷한 경향은 적게 나타나는 것으로 판단된다 (그림 3-2-22, 그림 3-2-23).

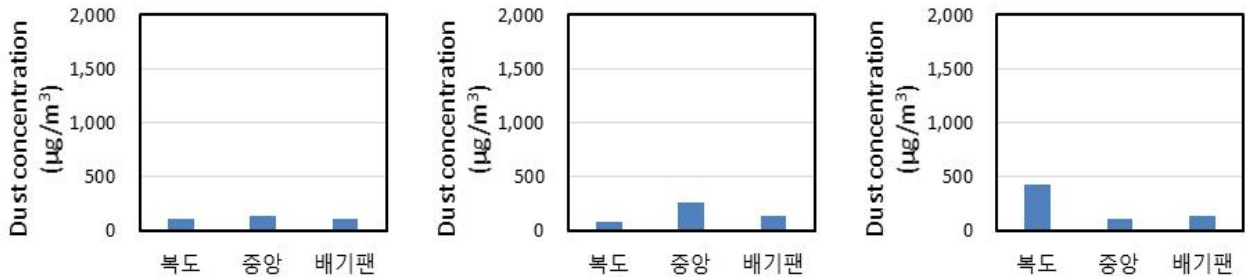


그림 3-2-22 시간 경과에 따른 돈사 내 위치별 흡입성 분진 농도 분포 (1차, 2차, 3차)

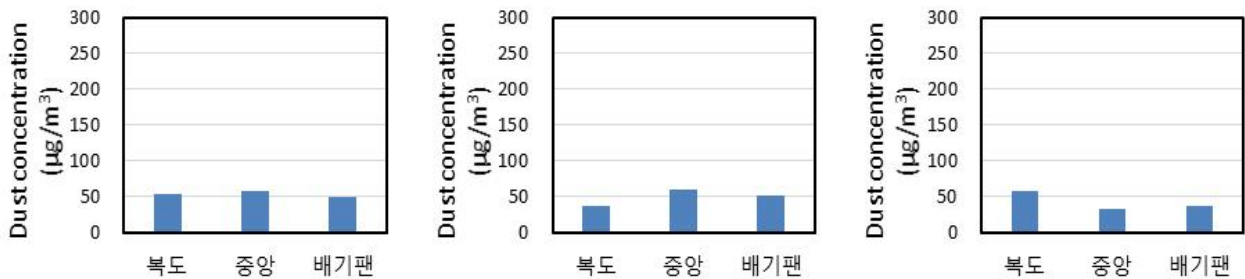


그림 3-2-23 시간 경과에 따른 돈사 내 위치별 흡입성 분진 농도 분포 (1차, 2차, 3차)

2017년 8월 29일 비육돈사 내부 암모니아 및 이산화탄소 가스 측정을 06시 57분부터 11시 30분까지 약 5시간 동안 가스 모니터링을 실시하였다 (그림 3-2-24). 돈사 중앙부 모니터링 데이터의 경우에는 기기의 결함으로 인하여 본 측정에 있어서는 제외하였으며, point_1은 비육돈사 내 복도측 그리고 point_3는 비육돈사 내 배기팬측에서의 가스 농도를 의미한다. 8월 29일은 여름철에 해당하는 기온으로 인하여 비육돈사의 환기시스템은 최대 환기 방식을 적용하고 있다. 그러나 일출 직전에는 일사량의 영향 또는 돈사 내로 공급되는 외부의 열원이 존재하지 않기 때문에 비육돈의 자체 발열량에 의하여 돈사

내부의 온도가 증가하여 내부 공기온도가 25°C이상이면 이와 비례하여 환기량이 결정되는 방식이다. 따라서 일출직전인 측정 초기에는 배기팬의 환기량이 상대적으로 크게 변동하기 때문에 배기팬 주변에서의 암모니아 농도 변화가 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 돈사 내부의 전체 평균 암모니아 농도는 13.8ppm으로 나타났으며, 배기구측에서는 18.4ppm을 나타냈다. 이는 입기덕트를 통하여 유입되는 외부의 신선한 공기가 측벽에 위치한 배기팬을 통하여 배출되는 확실적인 배기류 패턴으로 인하여 배기구 주변에 가스가 집적되고 신선한 공기의 도달량이 적기 때문에 암모니아 농도를 희석하기에는 상대적으로 적게 된 것으로 판단된다. 일 최대 암모니아 농도는 지점별로 배기구 주변 (28.5ppm), 복도측 (14.9ppm)의 순서로 크게 발생하는 것으로 나타났다. 비육돈사 내부의 암모니아 농도의 시간에 따른 변화는 온도, 환기량에 크게 좌우되는 것으로 판단된다. 일반적으로 일출직전까지 외부의 일사량의 영향이 없기 때문에 비육돈의 자체 발열량의 증가로 인하여 환기량이 증가하고 인하여 비육돈사 내부의 암모니아 농도는 감소한다. 이후 감소된 비육돈사 내부의 온도를 고려하여 환기량은 다시 감소하며 감소된 환기량으로 인하여 비육돈사 내부의 암모니아 농도는 다시 축적되는 패턴이다. 따라서 일출직후에는 일사량의 영향과 비육돈의 발열량으로 인하여 내부의 온도가 증가하기 때문에 환기량이 증가하여 배기구 및 복도측에서의 암모니아 농도가 점점 감소하는 것을 확인 할 수 있다. NIOSH에서는 작업자 및 가축의 건강에 영향을 미치는 암모니아 농도 (허용노출기준)를 25ppm으로 규정하고 있다. 그러나 해당 비육돈사의 경우에는 일출직전 배기구 주변에서 허용노출기준을 초과하고 환기량이 증가할 시에는 25ppm 이하의 수준으로 유지할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 비육돈사 내부의 전체적인 공기질을 고려하였을 때는 일출직전의 배기팬 근처에서의 암모니아에 대한 허용노출기준을 초과하는 것에 대한 차별적인 환기 전략이 필요할 것으로 판단되며, 해당 공간에서 장시간 (8시간) 또는 단시간 (15분) 작업할 시에는 가스상의 물질의 차단할 수 있는 방역마스크를 착용해야할 것으로 판단된다.

또한 이산화탄소 농도의 경우에도 복도측에서 1,520.2ppm, 배기팬측에서 2,149.4ppm으로 측정되었다. 이는 암모니아 농도 분포 경향과 유사하게 배기팬측으로 이동할수록 가스 농도가 증가하였다. 복도측에서 측정된 최대 이산화탄소 농도는 2,852ppm, 배기팬측에서 3,630ppm으로 나타났으며, 일반적인 이산화탄소 허용농도 기준이 1,000ppm을 상회하였다. 배기팬측에서는 이산화탄소의 농도가 높을 뿐만 아니라 배기팬의 성능이 내부 온도에 따라서 변함에 따라 가스 농도의 표준편차 역시 복도측 (357.6ppm)과 비교하여 배기팬측 (458.1ppm)으로 28% 높게 형성되는 것으로 분석되었다. 해당 이산화탄소에 농도 노출될 경우에는 가축과 작업자 모두가 호흡량, 호흡수가 늘어나 맥박이 빨라짐에 따라 혈압 상승, 두통 등의 증상이 나타날 수 있는 것으로 판단되므로 주의가 필요할 것으로 판단되었다.

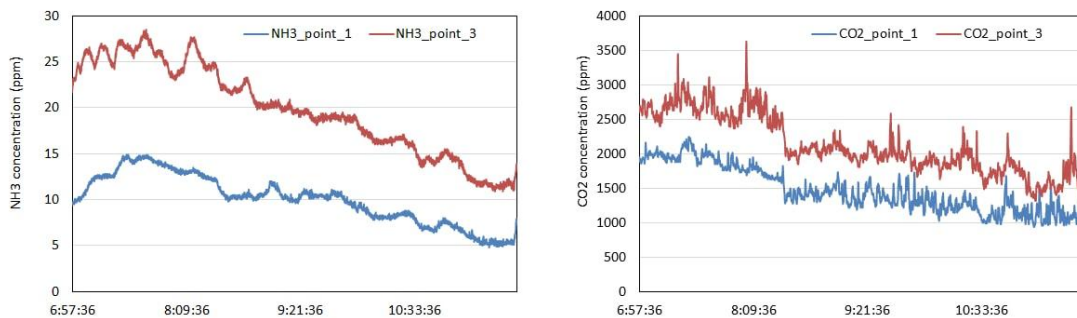
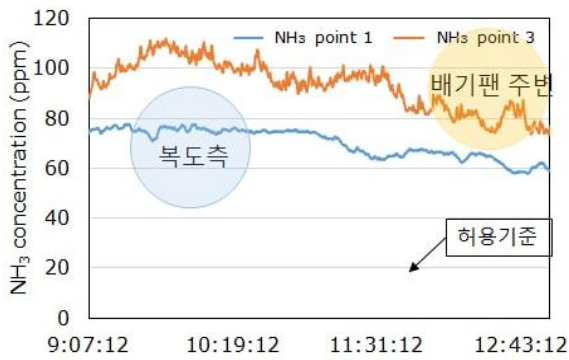


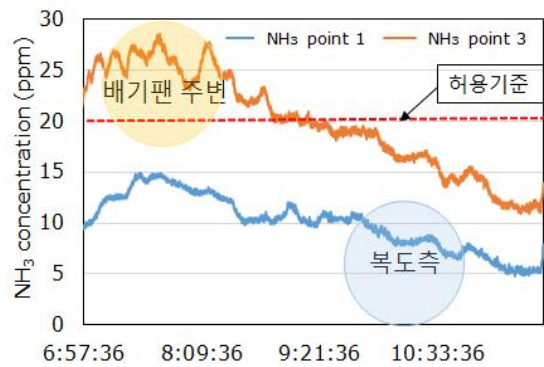
그림 3-2-24 바른양돈 내 비육돈사 내부의 시간에 따른 지점별 암모니아 및 이산화탄소 농도 분포 (2017. 08. 29)

즉, 일반적으로 비육돈사의 측벽 배기팬 위치에서 호흡기성, 흡입성 분진 모두 높게 형성되는 것으로 나타났다. 배기팬 근처 (point 3)이면서, 급이기가 위치해 있어 분진 농도가 point 1(복도측) 보다 높게 형성되는 이유도 존재하지만 배기 방향으로 분진이 집적됨에 따른 결과로 판단된다. 일반적으로 돈사의

경우 상대습도가 높게 유지 되고 습한 환경이 유지되기 때문에 복도측에서는 허용기준치보다 분진 농도가 적은데 반하여 배기팬 주변 급이기에서는 분진에 대한 허용치 기준을 상회하는 것으로 나타나, 작업자 및 가축의 건강상의 문제가 야기될 것으로 판단된다 (그림 3-2-25). 실험농장에서의 가스 및 분진 측정 결과로부터 하절기 최대 환기를 실시할 경우에는 지역과 관계없이 일출 직후 NIOSH 기준치 이하로 유지되었으나, 동절기 최소환기를 실시할 때에는 최대 110ppm 까지 증가하였다. point_1은 비육돈의 사육공간에 해당 되지 않고 작업자의 이동통로로 이용되지만 윈치커튼으로부터 발생하는 침기와 가축으로 인한 가스 및 분진의 발생 소스원이 없기 때문에 상대적으로 낮은 가스 및 분진 농도 분포를 나타내고 point_3 지점의 경우에는 배기팬 근처의 위치이기 때문에 상대적으로 축사 내부의 고농도 가스가 형성된 것으로 판단되었다.



(a) 3.23일 돈사 내부 암모니아 농도



(b) 8.29일 돈사 내부 암모니아 농도

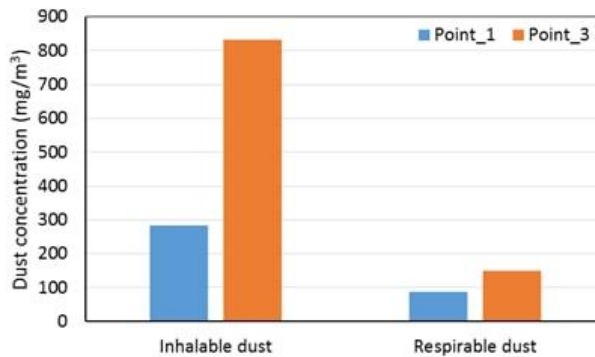


그림 3-2-25 비육돈사 내부 위치별 호흡성, 흡입성 분진 농도



(a) 돈사 내부의 열악한 환경으로 인한 센서 덕짐



(b) 비육돈사 내부 호흡성, 흡입성 분진 측정



(c) 센서의 정확도 유지를 위한 덕진 센서의 교체



(d) 비육돈사 내부 가스 측정을 위한 기기 설치

그림 3-2-26 비육돈사 내부의 호흡성, 흡입성 분진 및 가스 측정

3.3.1 육계사 배기팬 환기 성능 모니터링

크로스배기팬에서 토출되는 풍량에 대한 실험 결과는 다음 표 3-3-1 ~ 표 3-3-3과 같으며, 강제환기식 육계사의 크로스배기팬이 가동될 때의 팬의 가동 대수에 따른 풍량, 풍속 및 동압력 변화 측정 결과를 나타낸다. CF-2와 CF-3는 CF-1과 달리 제어시스템과 2대1로 제어 연결이 되도록 구성되어 있기 때문에 CF-2와 CF-3를 개별적으로 On/Off 할 수 없었기 때문에 본 연구에서 총 3대의 크로스배기팬 가운데 출입구로부터 가장 가까이 위치한 CF-1의 배기팬 1대를 가동할 경우와 CF-2와 CF-3의 배기팬 2대를 가동할 때 미압측정계를 이용하여 측정하였다. 측정된 CF-1의 평균 풍량은 $18,921 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (CF-1)을 나타냈다 (표 3-3-1). CF-1의 배기팬을 1대 가동 할 때의 풍량은 판매처에서 제공하는 성능표 ($20,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$)를 기준으로 약 53%의 풍량 성능을 가지며 이는 배기팬의 노후화에 따른 성능 감소 및 배기되는 풍량과 비교하여 입기구의 면적이 충분치 않음에 따른 배기되는 토출 풍량이 기존의 최대 배기팬 성능보다 저감된 것으로 판단된다.

표 3-3-1 CF-1의 크로스배기팬만 가동될 때의 측정 결과

가동 팬	1 차	2 차	3 차	평균	최대	최소	표준 편차
CF-1 (풍량, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	18,568	19,115	19,081	18,921	19,115	18,568	306
CF-1 (풍속, m s^{-1})	5.43	5.59	5.58	5.53	5.59	5.43	0.09
CF-1 (동압력, Pa)	18.06	19.14	19.07	18.76	19.14	18.06	0.6

가동하는 크로스배기팬의 대수에 따른 분석을 실시하고자 하였으나, 현재 대상 실험 농장의 육계사의 제어시스템과 크로스배기팬의 시스템 연결이 CF-1은 1대1 제어가 이루지고 CF-2와 CF-3는 제어시스템과 2대1의 제어가 이루어지기 때문에 부득이하게 2대의 크로스배기팬이 가동할 때는 CF-2와 CF-3가 가동 될 때의 풍량을 측정하였다. 측정결과는 CF-2와 CF-3에서 각각 $16,356 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (CF-2), $15,274 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (CF-3)을 나타냈다. 크로스배기팬을 1대 가동 했을 때와 비교하여 가동팬 증가 등의 부하량 증가로 인하여 약 17%의 추가적인 성능 감소가 발생하는 것으로 판단된다.

표 3-3-2 CF-2와 CF-3의 2대의 크로스배기팬이 가동될 때의 측정 결과

가동 팬	1 차	2 차	3 차	평균	최대	최소	표준 편차
CF-2 (풍량, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	16,619	15,559	16,892	16,356	16,892	15,559	704
CF-2 (풍속, m s^{-1})	4.86	4.55	4.94	4.78	4.94	4.55	0.21
CF-2 (동압력, Pa)	14.49	12.68	14.95	14.03	14.95	12.68	1.19
CF-3 (풍량, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	15,490	15,080	15,251	15,274	15,080	15,490	206
CF-3 (풍속, m s^{-1})	4.53	4.41	4.46	4.47	4.53	4.41	0.06
CF-3 (동압력, Pa)	12.57	11.91	12.18	12.22	12.57	11.91	0.33

크로스배기팬이 3대가 모두 가동되는 조건에서 CF-1, CF-2, CF-3의 각 배기팬에서의 풍량은 다음 표 3-3-3과 같다. CF-1에서의 3차 반복한 풍량의 평균은 $12,732 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (최대: $13,678 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 최소: $11,660 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 표준편차: $1,014 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), CF-2에서의 3차 반복 평균 풍량은 $16,037 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (최대: $16,037 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 최소: $15,524 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 표준편차: $286 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$)을 나타냈으며, CF-3에서의 3차 반복 풍량 평균은 $12,698 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (최대: $12,891 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 최소: $12,481 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 표준편차: $206 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$)을 나타냈다. 크로스배기팬 가운데 CF-2의 경우, CF-1과 CF-3와 비교하여 약 25 % 높은 풍량을 나타냈다. 또한 동일한 크로스배기팬에 대하여 판매처에서 제공하는 성능이 $20,800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 라는 점을 고려하면 약 10% 수준의 풍량 성능을 발휘하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 크로스배기팬의 설치 위치, 기류 특성에 따른 부하 및 가동 크로스배기팬의 대수 증가로 인한 성능 감소가 기인한 것으로 추측된다. 크로스배기팬이 1대 또는 2대가 작동할 때의 풍량을 기준으로 모든 크로스배기팬 (3대)가 가동 될 때 CF-1은 33%, CF-2는 3%, CF-3는 17%의 풍량이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 이는 배기팬의 가동 대수의 증가에 따라 육계사 내부에서 발생하는 부하에 의한 결과로부터 기인한 것으로 판단된다. 이는 각 배기팬의 가동 조건에 따른 동압 (Dynamic pressure)의 역-선형 관계를 통하여 앞서 언급한 배기팬의 가동 대수와 풍량 관계를 뒷받침할 수 있는 것으로 판단되며, CF-2의 크로스배기팬의 성능 감소가 작은 이유는 CF-1, CF-3와 비교하여 CF-2 크로스배기팬의 성능이 양호하게 관리됨에 따른 결과로 사료된다.

표 3-3-3 축사 내 모든 크로스배기팬 (3대)이 가동 될 때의 풍속 측정 결과

가동 팬	1 차	2 차	3 차	평균	최대	최소	표준 편차
CF-1 (풍량, m ³ h ⁻¹)	11,660	12,857	13,678	12,732	13,678	11,660	1014
CF-1 (풍속, m s ⁻¹)	3.41	3.76	4.0	3.72	4.0	3.41	0.3
CF-1 (동압력, Pa)	7.12	8.66	9.8	8.53	9.8	7.12	1.34
CF-2 (풍량, m ³ h ⁻¹)	16,037	16,003	15,524	15,855	16,037	15,524	286
CF-2 (풍속, m s ⁻¹)	4.69	4.68	4.54	4.64	4.69	4.54	0.08
CF-2 (동압력, Pa)	13.47	13.42	12.62	13.17	13.47	12.62	0.47
CF-3 (풍량, m ³ h ⁻¹)	12,481	12,720	12,891	12,698	12,891	12,481	206
CF-3 (풍속, m s ⁻¹)	3.65	3.72	3.77	3.71	3.77	3.65	0.06
CF-3 (동압력, Pa)	8.16	8.48	8.71	8.45	8.71	8.16	0.27

또한 동일한 풍량 측정 장치를 이용하여 육계사 (대선농장)에 설치된 터널배기팬의 실제 풍량을 측정하고 터널배기팬 앞에 육계사 외부 농작물에 피해를 끼치는 민원을 해결하기 위하여 설치된 방풍펜스의 유무에 따른 풍량 변화를 분석하고자 대선농장을 대상으로 현장실험을 수행하였다. 이는 방풍 펜스는 육계사 내부에서 외부로 배기되는 공기에 대한 부하 요인으로 작용하여 측정되는 풍량에 대한 오차를 증가시킬 수 있기 때문이다. 현장실험 당시 평균 기온은 22.4°C (최소 20.5°C, 최대 25.2°C), 상대습도는 76.4% (56.9% - 87.1%), 대기압은 999.96 hPa (997.10 - 1004.00 hPa)로 측정되었으며, 이를 통해 산정한 공기 밀도는 평균 1.1696 kg m⁻³ (1.1633 - 1.1761 kg m⁻³)로 나타났다. 터널배기팬 전방의 방풍벽을 제거한 조건에서 측정된 중앙 터널배기팬의 유량과 시설 내외 정압차는 다음의 표 3-3-4, 표 3-3-5와 같다. 각 표는 가동한 터널 팬의 대수와 슬롯의 개방 정도에 따라 유량 및 정압차의 범위를 나타낸다. 조건별 정압 차이의 측정 결과, 일부 조건 하에서 정압차가 음의 값으로 측정되어 시설 내부보다 외부의 정압력이 더 낮은 것으로 나타났다. 이론상 배기팬을 통한 강제환기를 실시할 경우 시설 내부의 정압은 외부보다 낮게 유지된다. 따라서 시설 내외에 설치된 정압 측정용 관 주변의 동압력 형성으로 인하여 오차가 발생했던 것으로 판단된다. 음의 정압 차이가 발생한 실험 조건은 가동한 터널배기팬 대수 2대 미만, 슬롯 개방 높이 20 cm 이상으로 정압 차이와 시설 전체 환기량이 낮은 조건에 해당하였다. 따라서 현장실험시 오차 발생 가능성을 최소화하기 위하여 정압차이가 비교적 높게 형성되는 조건 위주로 실험을 진행하였으며, 외부의 바람이 불지 않는 조건 하에서 측정을 진행하였다.

대상 터널배기팬의 제조사에서 제공하는 설계 최대 유량은 36,180 CMH이다. 실측 결과 방풍벽을 제거한 상태에서 측정된 최대 유량은 27,571 CMH로, 설계 최대 유량의 76.2% 수준인 것으로 나타났다. 대상 팬의 성능 감소의 원인으로는 배기팬을 통한 침기를 방지하기 위한 셔터의 설치, 팬 주변 분진의 축적, 장기간 사용에 따른 벨트 등 부품의 노후화 등으로 추정할 수 있다. 따라서 정확한 강제환기식 시설의 환기량 추정을 위해서는 현장 설치 시 변화한 팬 성능을 실측을 통해 평가하여야 할 것으로 판단된다. 대상 터널배기팬의 최소 유량이 측정된 실험 조건은 설치된 14대의 터널배기팬을 모두 가동하고 입기슬롯을 최대 개방 (34 cm)한 조건이다. 이는 터널배기팬과 입기슬롯을 사용한 최대 환기 조건이며,

이때 중앙 터널배기팬의 유량은 설계 최대 유량의 55.9% 수준인 20,222 CMH로 측정되었다. 당시 배기팬의 작동에 부하로서 작용하는 시설 내외 정압차는 37.36 Pa로 측정되었다.

표 3-3-4 팬 가동 대수별 터널배기팬의 유량 및 시설 내외 정압차 범위

팬 가동 대수	최소 슬롯 개방 높이	터널배기팬 유량 (CMH)		시설 내외 정압차 (Pa)	
		최소	최대	최소	최대
1	5	25,487	27,409	-2.5	0.0
2	5	24,051	27,237	-2.5	10.0
4	5	23,086	27,572	0.0	32.4
6	10	24,430	27,114	5.0	27.4
8	15	24,230	25,956	12.5	24.9
10	20	23,659	24,540	19.9	27.4
12	20	21,997	22,616	27.4	34.9
14	34	20,222	20,483	37.4	37.4

표 3-3-5 슬롯 개방 높이별 터널배기팬의 유량 및 시설 내외 정압차 범위

슬롯 개방 높이	최대 팬 가동 대수	터널배기팬 유량 (CMH)		시설 내외 정압차 (Pa)	
		최소	최대	최소	최대
5	4	23,086	26,346	0.0	32.4
10	6	24,430	26,666	0.0	27.4
15	8	24,230	27,572	0.0	24.9
20	12	21,997	27,409	-2.5	34.9
34	14	20,222	27,455	-2.5	37.4

일반적으로 팬의 성능은 최대 유량을 기준으로 판단하지만, 현장에서 적용시 팬의 유량은 덕트나 댐퍼 등 주변 환경의 구조적 특성에 따른 차이가 발생한다. 팬의 가동시 이송공기의 동압력은 흡입구와 배출구에서 동일하게 형성된다. 반면 팬이 공급하는 에너지로 인하여 배출구의 정압력은 흡입구에 비해 높게 형성된다. 팬 주변의 구조적 변화로 인하여 유동의 저항이 증가하면 흡입구와 배출구의 정압력 차이는 증가하고 유량은 감소하게 된다. 다시 말해, 팬의 배출구와 흡입구 간 정압력 차이는 덕트 등 주변 구조물로 인한 유동의 저항을 극복하기 위한 압력에 해당한다. 팬 성능 곡선 (fan performance curve)은 팬의 유량과 정압력 간 관계를 의미한다. 팬 성능 곡선은 팬의 형상, 소요 동력, 회전 속도가 일정할 경우 동일하게 유지되는 팬의 고유 특성이며, 팬의 설계와 설치 시 중요한 고려 사항이다. 팬 성능 곡선을 비롯한 산업용 팬의 성능 시험의 방법은 KSB 6311²⁶⁾과 ANSI/AMCA 210에 명시되어 있다. 팬의 제조사는 일반적으로 해당 기준을 따라 측정된 팬의 설계 성능 곡선 (fan performance curve at the design condition)을 제공한다. 그러나 현장에 팬을 설치 시 주변 구조물로 인한 압력 강하 혹은 팬의 노후화 등으로 인하여 팬 성능 곡선이 변화하는 것으로 알려져 있고, 최대 회전 속력 조건에서 팬 성능 곡선은 2차 다항식으로 근사할 수 있다 (식 (36)).

26) KSB-6311 (2016) Testing methods for turbo-fans and blowers.

$$\Delta P = c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2 \quad \text{식 (36)}$$

여기서, ΔP 는 팬의 흡입구와 배출구의 정압력 차이 (Pa), Q 는 팬의 이송 공기 유량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), c_0 , c_1 , c_2 는 팬 성능 곡선 계수이다.

설계 팬 성능 곡선은 일반적으로 기압 101.3 kPa, 온도 20°C, 상대 습도 50%, 밀도 1.20 kg m^{-3} 에 해당하는 표준 공기 조건에서의 성능을 나타낸다. 현장 적용시 정확한 성능의 추정을 위해서는 다음의 식 (37)을 통하여 공기온도 및 밀도를 통한 유량의 보정을 수행하여야 한다 (Liu & Liu, 2012²⁷).

$$\Delta P = \frac{\rho}{\rho_d} (c_0 + c_1 Q + c_2 Q^2) \quad \text{식 (37)}$$

여기서, ρ 는 현장의 공기 밀도 (kg m^{-3}), ρ_d 는 현장의 공기 밀도 (kg m^{-3})이다.

현장 실험을 통해 측정된 대상 터널배기팬의 유량과 시설 내외 정압차를 통한 회귀분석을 시행하여 현장 팬 성능 곡선을 도출하였다. 측정 결과의 분석 결과 시설 내외 정압차가 10 Pa 이하인 조건에서 높은 오차가 관측되었다. 낮은 정압 범위에서 외부 풍환경에 의해 정압력의 측정에 오차가 발생한 것으로 분석된다. 이에 따라 정압차 10 Pa 이상의 측정치만을 사용하여 회귀분석을 시행하였으며, 결과는 그림 3-1-1과 표 3-3-6와 같다. 회귀분석 결과와 제조사에서 제공하는 설계 팬 성능 곡선을 비교한 결과로부터 동일한 유량에 대하여 정압력의 차이가 약 20 Pa 이상 발생하는 것으로 나타났다. 이는 팬 성능 곡선의 표준 시험 방법과 현장 측정 환경의 차이 때문으로 분석된다. 공인 팬 성능 시험 방법의 경우 대상 팬의 흡입구 및 송출구에 덕트를 설치한다. 따라서 팬의 흡입구와 송출구 간 정압력 차이가 일정하게 유지되며 덕트에서의 측정이 용이하다. 그러나 강제환기식 육계사의 경우 배기팬이 덕트가 아닌 개방된 벽체에 설치된다. 배기팬에서 거리가 멀어짐에 따라 시설 내부의 유속이 감소하며, 정압력이 상승하게 된다. 실험 대상 육계사는 일반적인 강제환기식 육계사와 마찬가지로 운영상의 편의에 따라 제어장치의 인근 내벽 및 외벽에 정압 센서를 설치하였다. 해당 위치에서 측정되는 정압은 입기슬롯을 포함한 시설 평균 정압을 대표하기 때문에 입기슬롯의 유량 예측에 활용될 수 있다. 그러나 유속이 높게 형성되는 배기팬 인근의 정압과는 편차가 존재하며, 이로 인하여 설계 팬 성능 곡선과 실측 곡선간 편차가 나타난 것으로 분석된다.

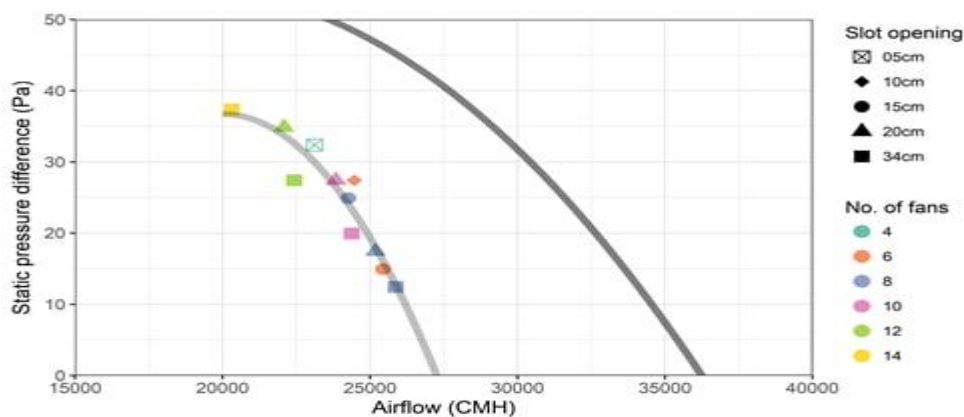


그림 3-3-1 현장 팬 성능 곡선 측정 결과

27) Liu, G., & Liu, M. (2012). Development of simplified in-situ fan curve measurement method using the manufacturers fan curve. Building and Environment, 48, 77-83.

표 3-3-6 현장 팬 성능 곡선의 회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.9063	0.9006	159.6	< 2.2e-16
(Intercept)	Estimate	Standard Error	p-value
Q	-2.417e+ 02	8.208e+ 01	5.891e-03 **
Q ²	2.784e-02	7.055e-03	3.920e-04 ***
	-6.959e-07	1.510e-07	5.820e-05 ***

여기서, 종속변수인 ΔP 는 시설 내외 정압차 (Pa), Q는 터널배기팬의 유량 (CMH)이다.

강제환기식 육계사에서 터널 환기를 시행할 경우 일반적으로 시설 내외부의 평균 정압차는 2.5 - 30 Pa의 범위를 나타낸다 (Casey et al., 2008). 해당 조건에서 실측 유량은 설계 팬 성능 곡선을 통해 예측한 유량보다 24.1% - 24.6% 감소하는 것으로 분석된다. 정압차에 따른 유량 감소율은 다음 표 3-3-7과 같다.

표 3-3-7 정압차에 따른 설계 팬 성능 곡선과 현장 팬 성능 곡선의 유량 차이

정압차 (Pa)	터널배기팬 유량 (CMH)		감소율
	설계	현장	
0	36,250	27,266	24.8%
10	34,551	26,199	24.2%
20	32,645	24,904	23.7%
30	30,434	23,111	24.1%

강제환기식 육계사의 운영 시 제조사에서 제공하는 설계 팬 성능 곡선을 통해 유량을 산정하기 위해서는 배기팬의 전후방에 추가적인 정압 센서를 설치해야 할 것으로 판단된다. 그러나 이는 센서의 정확성 및 유지관리 측면에서 난점이 존재한다. 배기팬을 가동시 주변 공기는 높은 동압력과 난류성으로 인하여 정압의 정확한 측정이 어렵다. 또한 배기 과정에서 육계사 내부에서 발생한 분진이 배기팬 인근에 축적되기 때문에 (그림 3-3-2), 센서의 유지 및 관리가 어려울 것으로 예상된다. 따라서 강제환기식 육계사의 환기량 예측을 위해서는 설계 팬 성능 곡선 (팬 유량 - 팬 정압차 간 관계)보다 본 연구에서 측정한 실측 팬 성능 곡선 (팬 유량 - 시설 평균 정압차 간 관계)의 적용이 용이할 것으로 판단된다.



그림 3-3-2 측정 대상 터널배기팬에 축적된 분진

방풍벽의 설치에 따른 팬 성능의 저하를 평가하기 위하여 방풍벽 유무에 따른 팬 성능 곡선과 제조사

에서 제공하는 설계 팬 성능 곡선을 비교 분석하였다. 회귀분석을 통한 방풍벽 설치시 팬 성능 곡선의 도출에 앞서 방풍벽 설치에 따른 P-Q 관계의 변화 여부를 검정하였다. 정압력 P에 대한 유량 Q의 2차 다항식에 해당하는 팬 성능 곡선 관계식에 방풍벽 설치 여부에 따른 명목변수 'Windbreak (방풍벽)'을 추가하여 다중회귀분석을 수행하였다. 앞선 분석과 동일하게 정압차 10 Pa 이상의 측정 데이터만을 대상으로 하였으며, 결과는 다음 표 3-3-8와 같다. 조정 R² (Adjusted R²) 수치가 0.8676로 높은 수치가 산정되었으며, 정압력 차이를 설명하는 유의한 모델로 판단된다 (p-value < 2.2e-16). 방풍벽 설치 여부를 나타내는 범주형 변수인 'Windbreak'의 p-value가 0.001 미만으로 산정되었다. 따라서 방풍벽을 설치함에 따라 대상 터널 팬의 성능에 유의한 변화가 발생한 것으로 분석된다.

표 3-3-8 방풍벽 설치에 따른 팬 성능 곡선 변화 여부 검정 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.8737	0.8676	142.9	< 2.2e-16
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	8.309e+ 01	4.370e+ 01	0.0619 .
Q	-7.526e-04	3.891e-03	0.8473
Q ²	-9.432e-08	8.633e-08	0.2788
Windbreak	1.333e+ 01	9.769e-01	< 2e-16 ***

방풍벽의 설치시 팬 성능의 평가를 위하여 회귀분석 결과는 표 3-3-9와 같으며, 그림 3-3-3은 대상 터널 팬의 설계 팬 성능 곡선, 방풍벽 유무에 따른 실측 팬 성능 곡선을 도시한 결과이다. 회귀분석을 통해 도출한 팬 성능 곡선을 비교한 결과, 방풍벽의 설치에 의해 육계사의 터널 환기시 일반적인 정압차 (2.5 ~ 30 Pa)에서 유량이 9.3% ~ 12.0% 감소하는 것으로 분석된다. 동일한 범위에서 제조사에서 제공하는 설계 팬 성능 곡선을 통해 예측한 유량과 비교하였을 때 감소율은 31.6% ~ 33.2%로 산정되었다. 정압 변화에 따른 유량 감소율의 변화는 표 3-3-10와 같다. Ford & Riskowski (2003)는 농업용 팬을 대상으로 실험실 규모 실험에서 방풍벽에 의한 유량 감소율을 정압차와 방풍벽의 거리에 따라 평가하였다. 본 연구와 유사한 조건 (팬 직경 1.4 m, 방풍벽과 거리 3.05 m, 정압차 0 - 37 Pa)에서의 실험 결과 유량 감소율은 9 ~ 14%로 보고되었으며, 이는 본 연구의 현장 실험 결과와 유사한 수치이다. 동일한 연구에서 방풍벽까지 거리가 팬 직경의 4배 이상일 경우 유의한 유량 변화가 관측되지 않았음이 보고되었으며 (Ford & Riskowski, 2003²⁸), 이를 고려하면 대상지의 방풍벽을 터널배기팬에서 5.6 m 이상 떨어진 위치에 설치하는 것이 권장된다.

표 3-3-9 방풍벽 설치 시 현장 팬 성능 곡선의 회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.9296	0.9244	178.3	2.769e-16
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	-2.070e+ 01	8.343e+ 01	0.8059
Q	1.004e-02	7.945e-03	0.2172
Q ²	-3.710e-07	1.886e-07	0.0595

28) Ford, S. E., & Riskowski, G. L. (2003). Effect of windbreak wall location on ventilation fan performance. Applied engineering in agriculture, 19(3), 343.

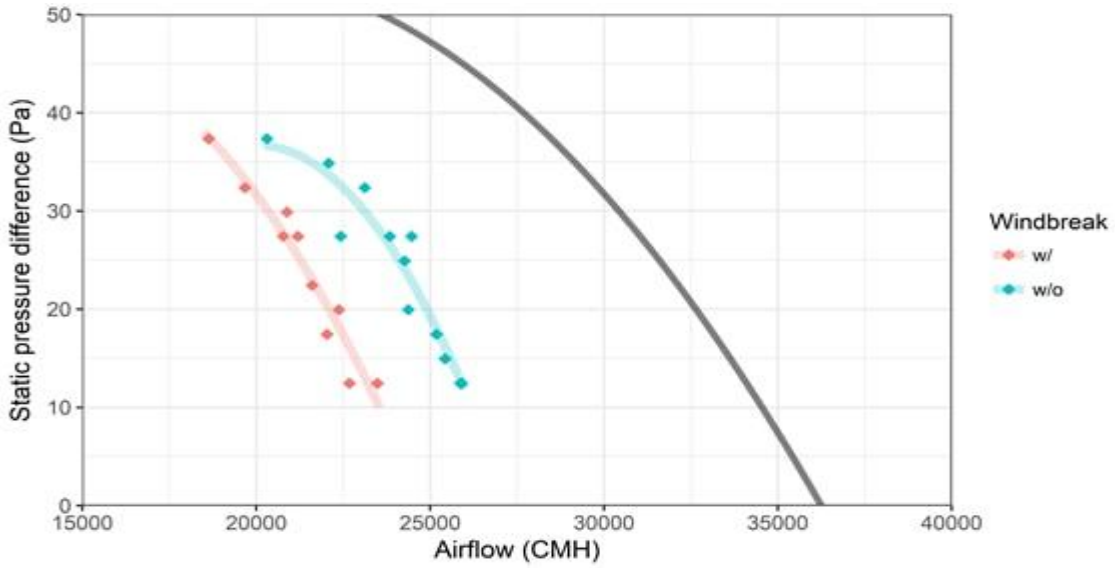


그림 3-3-3 방풍벽의 설치 여부에 따른 현장 팬 성능 곡선의 변화

표 3-3-10 정압차에 따른 방풍벽 설치에 의한 유량 감소율

정압차 (Pa)	유량 감소율	
	방풍벽 제거 대비 감소율	설계 성능 대비 감소율
0	9.0%	31.6%
10	10.1%	31.9%
20	11.3%	32.3%
30	12.0%	33.2%

○ 입기슬롯의 오리피스 공식 및 유출계수 분석 결과

오리피스 공식은 opening을 통과하는 유체의 흐름을 추정하기 위하여 일반적으로 사용되는 공식이다. 오리피스 공식은 비압축성 정상류 가정 하에 베르누이 공식을 통해 유도할 수 있다 (Karava et al., 2004). 그림 3-3-4와 같이 유체의 흐름 중 단면이 급히 변화하는 세각 오리피스 (sharp edged orifice)에 의하여 단면적의 변화가 발생할 경우, 베르누이 공식과 연속 방정식에 의해 다음 식 (38), 식 (39)이 성립한다.

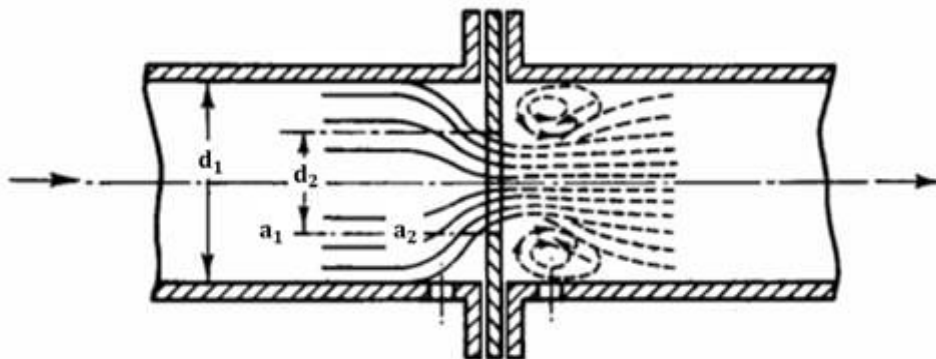


그림 3-3-4 세각 오리피스를 통과하는 유동 (Ower & Panckhurst, 1977)

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 \quad \text{식 (38)}$$

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{식 (39)}$$

여기서, ρ 는 유체의 밀도 (kg m^{-3}), v_i 는 단면 i 의 유속 (m s^{-1}), p_i 는 단면 i 의 정압력 (Pa), A_i 는 단면 i 의 단면적 (m^2), Q 는 유체의 유량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)을 의미한다.

두 식을 연립하여 오리피스를 통과하는 유속과 유량을 산정하면 다음 식 (40)과 같다.

$$Q = A_2 v_2 = A_2 \times \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (A_2/A_1)^2]}} \quad \text{식 (40)}$$

오리피스를 통과하는 유체는 단면의 수축과 마찰로 인하여 에너지의 손실이 발생하며, 이를 보정하기 위한 유출계수 (Discharge coefficient)를 적용하여 공식을 단순화하면 다음 식 (41)과 같다.

$$Q = C_D A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad \text{식 (41)}$$

여기서, ΔP 는 두 단면 간의 정압력 차이를 의미한다.

일반적으로 유출계수는 사각형 형태의 창에서 0.6-0.65, (ASHRAE Fundamentals, 2001²⁹), 원형 창 의 경우 0.9-0.95 (Andersen, 2002³⁰)로 추정하여 적용한다. 그러나 유출계수는 창의 형상 및 조도, 유입 공기의 유량, 밀도, 및 점성계수에 의하여 변동한다 (Heiselberg & Sandberg, 2006). 또한 환기 창을 통과하는 유동은 일반적으로 완전 발달한 유동이 아니기 때문에 레이놀즈 수 (Re)의 영향을 받는다 (Karava et al., 2004³¹). 따라서 압력차에 의해 창을 통과하는 유량을 정확히 추정하기 위해서는 유출계수의 실측이 요구된다고 할 수 있으며, 창의 형상, 크기, 레이놀즈 수 등의 변수에 따라 유출계수를 평가하는 연구들이 이루어지고 있다. 하나의 입기슬롯을 통과하는 유량과 시설 내외 평균 정압차의 분석을 통해 현장 실험 대상 계사에 설치된 입기슬롯의 유출계수를 산정하였다. 분석 과정에서 시설 내부 정압력은 공간적으로 균일하게 분포하며 모든 입기슬롯을 통과하는 유량은 동일하다는 가정하였다. 한 입기슬롯을 통과하는 유량은 시설 전체 환기량을 슬롯의 개수로 나눠 산정하였다. 유출계수는 오리피스의 기하학적 형상의 영향을 받는다. 따라서 슬롯의 개방 정도에 따라 유출계수가 변화할 것으로 예상하고 각각의 슬롯 개방 크기에 대해 분석을 진행하였다. 오리피스 공식에 따라 다음과 같은 식 (42)을 통해 2차 다항식 회귀분석을 시행하였다.

$$\Delta P = \frac{\rho}{2A^2 C_D^2} Q^2 = C \times Q^2 \quad \text{식 (42)}$$

여기서, ΔP 는 시설 내외부 정압차 (Pa), Q 는 슬롯을 통과하는 유량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), ρ 는 공기 밀도 (kg m^{-3}), C_D 는 유

29) ASHRAE Fundamentals Handbook: (2001). American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA.

30) Andersen KT. (2002). Friction and contraction by ventilation openings with movable flaps, Proceedings of Roomvent 2002, Copenhagen, Denmark.

31) Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. (2004). Wind driven flow through openings? a review of discharge coefficients. International Journal of Ventilation, 3(3), 255-266.

출계수, A는 슬롯의 면적 (m²), C는 회귀분석 결과 도출되는 계수이다.

유출계수는 회귀분석을 통해 산정한 계수와 실험 당시 공기 밀도, 슬롯의 면적을 통해 산정하였다. 각 슬롯 개방 크기에 따른 회귀 분석의 결과 및 도출된 유출계수는 다음 표 3-3-11, 그림 3-3-5와 같다. 회귀분석 결과 모든 슬롯 개방면적에 대하여 유량 제곱의 계수가 정압차에 유의한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 모든 슬롯 크기에 대하여 조정 R²가 0.96 이상으로 산정되어 회귀분석 결과가 적합하다고 판단하였다. 유출계수는 슬롯의 개방면적이 증가할수록 감소하는 것으로 분석되었다. 이러한 경향은 bottom-hung window를 대상으로 한 선행연구의 결과와 일치한다. Bottom-hung window는 창문 바닥이 벽과 고정되어 있으며 각도 조절을 통해 상부와 측면으로 공기가 유입되는 구조로, 육계사에서 일반적으로 사용되는 측벽 입기슬롯과 구조가 유사하다. Heiselberg & Sandberg (2004)의 연구 결과, 모형을 통해 측정한 bottom-hung window의 유출계수는 개방면적이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다 (그림 3-3-6).

표 3-3-11 슬롯 개방 높이별 회귀 분석 및 유출계수의 산정 결과

슬롯 개방 높이 (cm)	회귀 계수	p-value	Adjusted R ²	유출계수 (C _D)
5	332.660	1.06e-08	0.9988	0.743
10	108.476	5.49e-12	0.9976	0.650
15	55.643	2.28e-09	0.9893	0.605
20	41.457	< 2e-16	0.9960	0.526
34	33.473	9.75e-12	0.9643	0.344

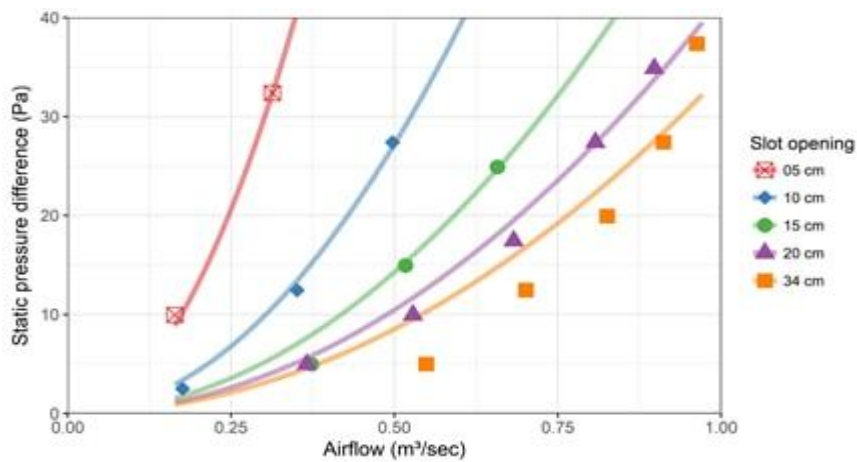
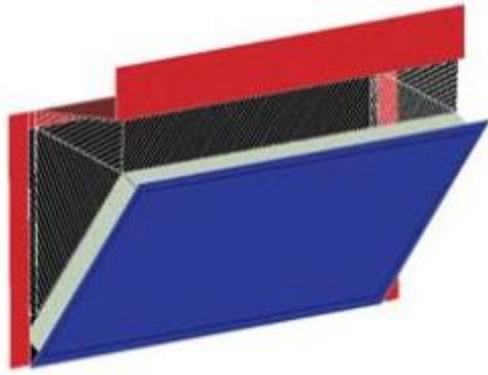
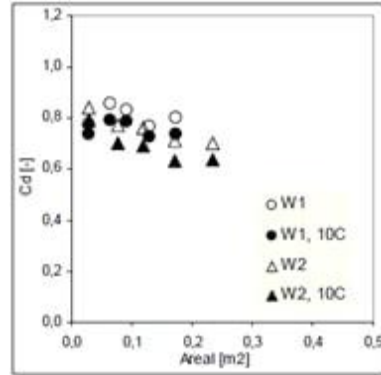


그림 3-3-5 슬롯 개방 높이별 유출계수 산정 결과



(a) Bottom-hung window의 구조



(b) 창문 개방면적에 따른 유출계수

그림 3-3-6 Bottom-hung window의 구조 및 개방면적에 따른 유출계수 측정 결과 (Heiselberg & Sandberg, 2006³²)

산정된 입기슬롯의 유출계수의 경향 분석과 추후 일반적인 적용을 위하여 입기슬롯의 개방면적을 통한 회귀 분석을 실시하였다. 회귀분석 결과는 다음 표 3-3-12와 그림 3-3-7와 같다.

표 3-3-12 슬롯 개방면적에 따른 유출계수의 회귀 분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.8540	0.8512	304.2	< 2.2e-16
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	0.80867	0.01592	< 2e-16 ***
A	-1.11129	0.06372	< 2e-16 ***

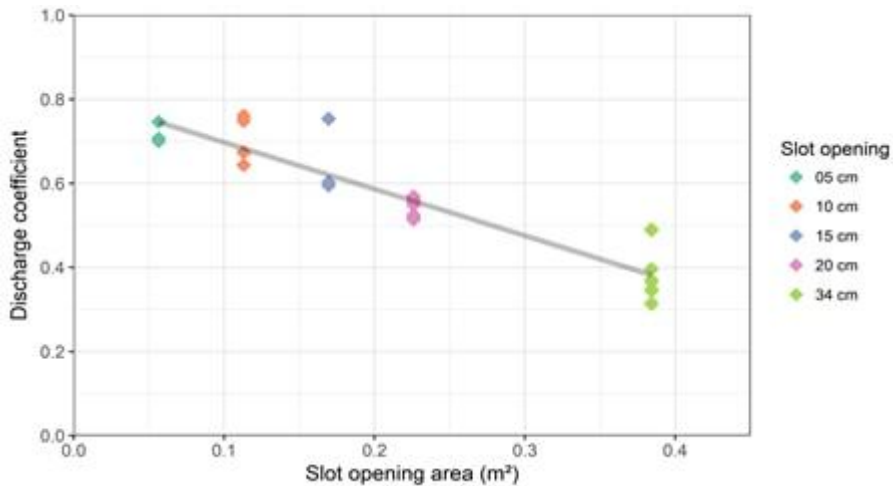


그림 3-3-7 슬롯 개방면적에 따른 유출계수의 회귀 분석 결과

입기슬롯의 유출계수는 슬롯의 개방면적에 따라 유의하게 ($p\text{-value} < 2e-16$) 감소하는 것으로 분석되었다. 회귀모형의 조정 R²는 0.8512로 비교적 높은 수치가 산정되어 회귀모형의 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.

32) Heiselberg, P., & Sandberg, M. (2006). Evaluation of discharge coefficients for window openings in wind driven natural ventilation. International Journal of Ventilation, 5(1), 43-52.

○ 환기량 산정 공식

현장 실험을 통해 평가한 현장 팬 성능 곡선과 입기슬롯의 유출계수를 통해 시설 운영 조건에 해당하는 팬의 가동 대수 (n)과 입기슬롯의 개방면적 (A)를 통해 환기량을 산정하는 공식을 도출하였다. 시설 전체 환기량이 Q, 터널 팬의 가동 대수가 n일 때, 현장 팬 성능 곡선을 다음과 같이 식 (43)으로 표현 된다.

$$\Delta P = c_0 + c_1 \left(\frac{Q}{n}\right) + c_2 \left(\frac{Q}{n}\right)^2 = -241.665 + \frac{100.215}{n} Q + \frac{9.019}{n^2} Q^2 \quad \text{식 (43)}$$

여기서, ΔP 는 시설 내외의 평균 정압차 (Pa), Q는 시설 전체 환기량 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), n은 팬의 가동 대수이다.

오리피스 공식에 현장 실험을 통해 도출한 유출계수의 회귀식과 대상시설의 입기슬롯 개수를 적용하면 다음 식 (44), 식 (45)과 같다.

$$Q = C_D (82 \times A) \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = 82(0.809 - 1.111A)A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad \text{식 (44)}$$

$$\Delta P = \frac{1}{82^2(0.809 - 1.111A)^2 A^2} \times \frac{\rho}{2} Q^2 \quad \text{식 (45)}$$

여기서, C_D 는 입기슬롯의 유출계수 (dimensionless) A는 입기슬롯의 개방면적 (m^2), ρ 는 공기의 밀도 (kg m^{-3})이다.

두 방정식을 연립하여 ΔP 항을 제거하면 환기량에 대한 2차 방정식을 얻을 수 있다 (식 (46), 식 (47)).

$$c_0 + \frac{c_1}{n} Q + \left(\frac{c_2}{n^2} - \frac{\rho}{2 \times 82^2(0.809 - 1.111A)^2 A^2}\right) Q^2 = 0 \quad \text{식 (46)}$$

$$n^2 c_0 + n c_1 Q + \left(c_2 - \frac{n^2 \rho}{2 \times 82^2(0.809 - 1.111A)^2 A^2}\right) Q^2 = 0 \quad \text{식 (47)}$$

환기량 Q의 제곱항의 계수를 c_2' 로 단순화하면 방정식의 해를 식 (48), 식 (49), 식 (50)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때, 필요한 계수들은 $C_0 = -241.665 \text{ Pa}$, $C_1 = 100.215 \text{ Pa} \cdot \text{s m}^{-3}$, $C_2 = -9.019 \text{ Pa} \cdot \text{s}^2 \text{ m}^{-6}$ 이다.

$$n^2 c_0 + n c_1 Q + c_2' Q^2 = 0 \quad \text{식 (48)}$$

$$Q = \frac{-c_1 + \sqrt{c_1^2 - 4c_0 c_2'}}{2c_2'} \times n \quad \text{식 (49)}$$

$$c_2' = c_2 - \frac{n^2 \rho}{2 \times 82^2(0.809 - 1.111A)^2 A^2} \quad \text{식 (50)}$$

따라서 공기 밀도 ρ 를 적절한 값으로 가정, 혹은 온도와 습도 측정을 통해 산정한다면, 시설 운영 조건에 따른 환기량을 산정할 수 있다. 시설 내외 평균 정압차의 산정식 역시 도출한 환기량을 현장 팬 성능 곡선 혹은 오리피스 공식에 대입하여 산정할 수 있다. 공기 밀도를 표준 공기 밀도인 1.225 kg m^{-3} 로 가정했을 때, 대상시설의 터널배기팬 가동 대수 (1~14대) 및 입기슬롯의 개방 높이(2~34 cm, 2 cm 간격)에 따른 환기량과 정압차 추정 결과는 그림 3-3-8와 같다. 그림 우측 하단의 회색 부분은 시설 내외에 과도한 정압 차이가 형성되며 배기팬의 고장이 우려되는 조건이다. 기존의 강제환기식 육계사는 시설 내외 정압력 차이의 측정치를 입기슬롯의 개방면적 제어에만 활용하고 있다. 환기량의 제어는 배기팬의 설계 최대 유량과 가동 대수만을 통해 제어하였으며, 실제 적용되는 환기량에 대한 정보가 부족했던 실정이다. 시설 내외부 정압차를 고려한 환기량의 평가가 요구되나, 정압력 편차의 측정치는 센서 주변 기류에 의한 오차의 가능성이 큰 실정이다. 본 연구에서 분석한 환기량 및 정압력 차이 공식을 통하여 쉽게 측정이 가능한 입기슬롯의 개방 높이 및 터널배기팬의 가동 대수를 통해 정확한 환기 운영이 가능할 것으로 기대된다.

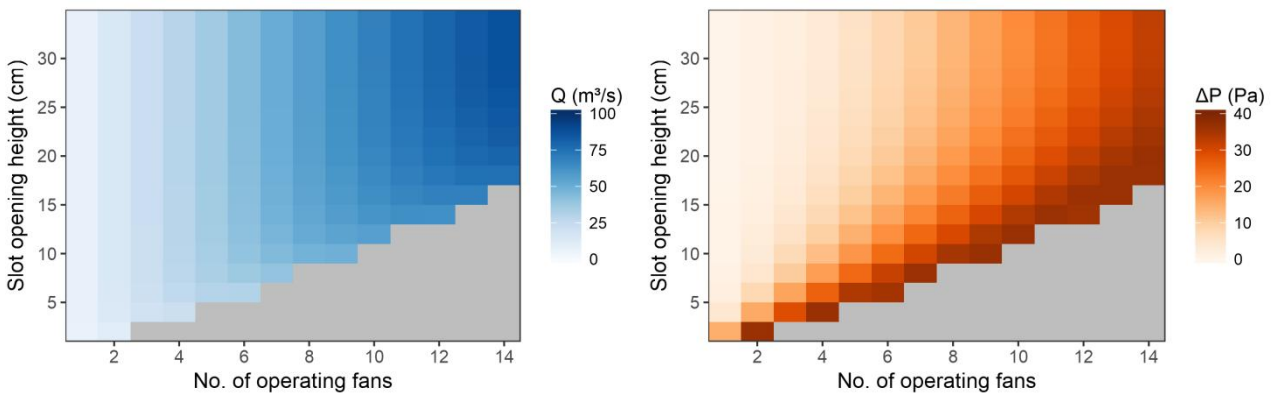


그림 3-3-8 시설 운영 조건별 환기량 추정 결과

3.3.2 비육돈사 배기팬 환기 성능 모니터링

비육돈사의 내부 공기 환기를 위하여 설치되는 배기팬의 성능은 70.83 CMM으로 나타났다. 시험 성적서를 기준으로 현장 실측치를 비교한 결과는 배기팬의 성능은 약 58.2 CMM (설정 환기량 50% 기준)를 나타냈다. 서터, 후드 등의 영향으로 인하여 시험 성적서 상의 배기팬 성능과 비교하여 약 18%의 환기량이 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 배기팬에서 배기되는 기류의 역 유입을 방지하기 위하여 그림 3-3-9와 같이 배기팬에 추가적으로 부착되는 서터에 의하여 팬의 기존 성능보다 부하가 발생하여 본연의 성능을 발휘하지 못하는 것으로 판단된다.



가변식 풍량 50% 동작 시
서터의 개방 정도 (30~45°)



가변식 풍량 20% 동작 시
서터의 개방 정도 (거의 열리지 않는 상태)

그림 3-3-9 비육돈사의 가변식 배기팬에 부착된 셔터의 풍량에 따른 개방 정도

대상 비육돈사에는 지속적으로 발생하는 축산악취와 관련한 민원을 해결하기 위하여 바이오커튼을 통하여 돈사에서 발생 및 배출 되는 악취 저감에 관련한 노력을 하고 있다. 그러나 바이오커튼으로 밀폐된 공간은 공기유동학적 이유로 인하여 돈사 내 배기팬으로부터 배출되는 풍량의 성능을 저감시킬 수 있는 가능성이 농후하다. 따라서 본 연구에서는 우선적으로 바이오커튼의 설치 유무에 따라 돈사에서 배출되는 풍량에 대한 차이를 분석하고자 하였으며, 측정된 결과는 표 3-3-13 ~ 표 3-3-14와 같다.

표 3-3-13 바이오커튼이 설치되지 않은 돈사 내 가변식 배기팬의 설정 풍량에 따른 토출 풍량

구분		가변식 배기팬 설정 풍량 (CMM; m ³ min ⁻¹) / 공기교환율 (AER; min ⁻¹)				
		30%	40%	50%	60%	70%
반복 횟수	1 차	14.4 / 0.021	42.6 / 0.062	51.6 / 0.075	80.5 / 0.117	96.6 / 0.140
	2 차	12.1 / 0.018	44.3 / 0.064	61.1 / 0.089	73.8 / 0.107	98.3 / 0.143
	3 차	12.7 / 0.019	41.8 / 0.061	59.2 / 0.086	69.2 / 0.101	98.7 / 0.143
	4 차	12.8 / 0.019	41.7 / 0.061	61.1 / 0.089	68.0 / 0.099	96.4 / 0.140
	5 차	15.3 / 0.022	39.0 / 0.057	58.1 / 0.084	63.8 / 0.093	96.4 / 0.140
평균		13.5 / 0.020	41.9 / 0.061	58.2 / 0.084	71.1 / 0.103	97.3 / 0.141

표 3-3-14 바이오커튼이 설치된 돈사 내 가변식 배기팬의 설정 풍량에 따른 토출 풍량

구분		가변식 배기팬 설정 풍량 (CMM; m ³ min ⁻¹) / 공기교환율 (AER; min ⁻¹)				
		30%	40%	50%	60%	70%
반복 횟수	1 차	7.2 / 0.011	14.8 / 0.022	26.4 / 0.038	57.0 / 0.083	77.8 / 0.113
	2 차	7.9 / 0.012	16.8 / 0.025	31.0 / 0.045	60.1 / 0.087	71.2 / 0.104
	3 차	6.1 / 0.009	15.1 / 0.022	27.1 / 0.039	49.2 / 0.072	80.7 / 0.117
	4 차	7.3 / 0.011	13.9 / 0.020	28.9 / 0.042	53.8 / 0.078	74.2 / 0.108
	5 차	5.5 / 0.008	19.2 / 0.028	30.0 / 0.044	50.8 / 0.074	66.9 / 0.097
평균		6.8 / 0.010	16.0 / 0.023	28.7 / 0.042	54.2 / 0.079	74.2 / 0.108

동일한 팬을 사용하는 돈사에 악취저감을 위하여 설치된 바이오커튼의 유무에 따른 배기팬의 토출 풍량의 부하를 측정하였으며, 배기팬의 설정 풍량이 30, 40, 50, 60, 70%일 때 바이오커튼의 설치 유무에 따라 각각 49.5, 61.9, 50.8, 23.8, 23.8%의 풍량 감소가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 바이오커튼 설치에 따라 공기의 유동학적 특성에 따라 배기팬에서 토출되는 배기류에 저항체로 작용함에 따른 결과로 판단된다.

주변 지역의 주민의 축산 악취로 인한 민원을 해결하기 위해서 설치하는 바이오커튼 등의 악취저감 시설은 필수불가결하다. 그러나 적절하지 못한 시설의 구비는 오히려 부하 및 사육환경을 악화시킬 수 있는 가능성이 농후하기 때문에 악취 저감 및 지역공동체의 공생을 위한 차별적인 전략이 필요하다.

3.4.1 육계사 내 필요환기량 산정

○ 회귀분석

대상시설 내부의 오염물질 농도 예측을 위한 다중 선형 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석의 종속변수는 현장실험을 통해 측정한 내부의 평균 암모니아, 이산화탄소, 흡입성 분진과 호흡성 분진의 농도이다. 암모니아 농도를 제외한 종속변수들은 모델의 정확도 개선을 위해 로그 변환을 시행하였다. 독립변수는 오염물질의 농도와 동시에 측정한 내부의 평균 온도, 상대습도, 환기량과 육계의 일령이다. 마찬가지로 모델의 정확도를 고려하여 p-value가 유의수준 0.05 이상인 변수는 분석에서 제외하였으며, 모든 모델은 adjusted R²와 잔차 분석을 통해 적합성을 판단하였다 (표 3-4-1 ~ 표 3-4-4).

표 3-4-1 육계사의 암모니아 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.7870	0.7861	877	< 2.2e-16
	Estimate	Standard error	p-value
(Intercept)	-2.49255	0.150077	< 2e-16 ***
RH	0.00775	0.001636	2.63e-06 ***
Age	0.194	0.006239	< 2e-16 ***
Ventilation rate	-0.05498	0.002871	< 2e-16 ***

$$\text{암모니아를 고려한 필요환기량: } V_{NH_3} = \frac{\exp(4.602 - 0.173T_i - 0.034RH + 0.247Age)}{\rho \times 25} \quad \text{식 (51)}$$

표 3-4-2 육계사의 이산화탄소 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.9513	0.9510	3470	< 2.2e-16
	Estimate	Standard error	p-value
(Intercept)	-1621.24	688.924	0.018879 *
DBT	83.739	22.437	0.000205 ***
RH	47.008	1.205	< 2e-16 ***
Age	-62.98	9.004	6.14e-12 ***
Ventilation rate	-25.71	2.35	< 2e-16 ***

$$\text{이산화탄소를 고려한 필요환기량: } V_{CO_2} = \frac{\exp(9.503 - 0.072T_i - 0.008RH + 0.126Age)}{\rho \times 5000} \quad \text{식 (52)}$$

표 3-4-3 육계사의 흡입성 분진 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.5365	0.5345	269.1	< 2.2e-16
	Estimate	Standard error	p-value
(Intercept)	6.345653	0.045935	< 2e-16 ***
Age	0.086201	0.004149	< 2e-16 ***
Ventilation rate	-0.02476	0.00236	< 2e-16 ***

$$\text{흡입성 분진을 고려한 필요환기량: } V_{Inhalable} = \frac{\exp(9.783 - 0.095T_i - 0.030RH + 0.222Age)}{\rho \times 2400} \quad \text{식 (53)}$$

표 3-4-4 육계사의 호흡성 분진 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.7473	0.7452	341.6	< 2.2e-16
	Estimate	Standard error	p-value
(Intercept)	3.241545	1.077057	0.00276 **
DBT	0.066531	0.035578	0.06211
RH	-0.01188	0.001446	2.19e-15 ***
Age	0.102791	0.01327	6.05e-14 ***
Ventilation rate	-0.02237	0.003601	1.16e-09 ***

호흡성 분진을 고려한 필요환기량: $V_{Respirable} = \frac{\exp(5.795 - 0.042RH + 0.250Age)}{\rho \times 160}$ 식 (54)

여기서, DBT는 육계 높이의 평균 건구온도 (°C), RH는 육계 높이의 평균 상대습도 (%), Age는 육계의 일령 (day), Ventilation rate은 육계사의 환기량 (m³/s)이다. 종속변수의 단위는 앞선 분석에 사용된 단위들과 같다.

흡입성 분진의 농도에 대한 회귀분석을 제외한 모든 오염물질 농도의 회귀분석 결과의 adjusted R²가 0.7 이상으로 산정되었다. 반면 흡입성 분진을 대상으로 한 다중회귀분석의 adjusted R²는 0.53로 비교적 낮은 수치가 산정되어 회귀모형의 오염물질의 농도에 대한 적합도가 낮다고 할 수 있다. 독립변수의 p-value를 통한 분석 결과 육계의 일령과 환기량은 흡입성 분진에 유의한 유의향 영향을 주는 것으로 분석되었으나, 시설의 평균 온도와 습도는 회귀모형에 포함시킬 경우 유의한 영향을 끼치지 않았다. 호흡성 분진에 비해 입경이 큰 흡입성 분진은 발생량에 대한 육계의 활동 등 기계적인 메커니즘의 발생량에 대한 영향이 클 것으로 예상된다. 따라서 추후 육계사 내부 호흡성 분진의 농도 예측을 위해선 육계의 활동성 혹은 활동성에 영향을 주는 환경 조절 장치의 가동과 같은 요소를 고려해야 할 것으로 사료된다.

3.4.2 비육돈사 내 필요환기량 산정

○ 회귀분석

대상시설 내부의 오염물질 농도 예측을 위한 다중 선형 회귀분석을 진행하였다. 회귀분석의 종속변수는 현장실험을 통해 측정된 내부의 평균 암모니아, 이산화탄소, 흡입성 분진과 호흡성 분진의 농도이다. 암모니아 농도를 제외한 종속변수들은 모델의 정확도 개선을 위해 로그 변환을 시행하였다. 독립변수는 오염물질의 농도와 동시에 측정된 내부의 평균 온도, 상대습도이다. 마찬가지로 모델의 정확도를 고려하여 p-value가 유의수준 0.05 이상인 변수는 분석에서 제외하였으며, 모든 모델은 adjusted R²와 잔차 분석을 통해 적합성을 판단하였다 (표 3-4-5 ~ 표 3-4-8).

표 3-4-5 비육돈사의 암모니아 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.4083	0.4082	14900	< 2.2e-16
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	306.652873	2.122362	< 2e-16 ***
Temperature	-9.918447	0.064027	< 2e-16 ***
Relative humidity	-0.089004	0.007443	< 2e-16 ***

$$\text{암모니아를 고려한 필요환기량: } V_{NH_3} = \frac{\exp(306.652873 - 9.918447T_i - 0.089004RH)}{\rho \times 25} \quad \text{식 (55)}$$

표 3-4-6 비육돈사의 이산화탄소 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.3389	0.3388	11070	< 2.2e-16
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	8489.0570	103.2748	< 2e-16 ***
Temperature	-2876.1843	3.1156	< 2e-16 ***
Relative humidity	19.9462	0.3623	< 2e-16 ***

$$\text{이산화탄소를 고려한 필요환기량: } V_{CO_2} = \frac{\exp(8489.0570 - 286.1843T_i - 19.9462RH)}{\rho \times 5000} \quad \text{식 (56)}$$

표 3-4-7 비육돈사의 흡입성 분진 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.3862	0.3453	9,438	< 0.0006
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	-616.053	1991.549	< 0.7592
Temperature	106.815	54.808	< 0.0607
Relative humidity	-19.829	9.126	< 0.0378*

$$\text{흡입성 분진을 고려한 필요환기량: } V_{Inhalable} = \frac{\exp(-616.053 - 106.815T_i - 19.829RH)}{\rho \times 2500} \quad \text{식 (57)}$$

표 3-4-8 비육돈사의 호흡성 분진 농도에 대한 다중 선형회귀분석 결과

Multiple R ²	Adjusted R ²	F-statistic	p-value
0.1753	0.1203	3188	0.05555
	Estimate	Standard Error	p-value
(Intercept)	30.260	266.378	0.91
Temperature	8.059	7.331	0.28
Relative humidity	-1.580	1.221	0.205

$$\text{호흡성 분진을 고려한 필요환기량: } V_{Respirable} = \frac{\exp(184.785836 - 6.594541T_i - 0.356361RH)}{\rho \times 230} \quad \text{식 (58)}$$

3.5.1 CFD를 이용한 대상 육계사의 환경 개선 연구

○ 육계사 CFD 모델의 설계 및 검증

합리적인 연산 결과를 나타내면서 효율적인 연산 시간을 소요하는 육계사 CFD 모델 설계를 위하여 다양한 격자 크기를 대상으로 격자독립성시험을 수행하였다. 이 때, 최대 격자 크기 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0 m의 격자 크기를 갖는 모델을 대상으로 연산을 수행하였다. 격자 독립성 시험은 최대 격자 크기

0.1 m의 연산 결과와 각 모델의 결과의 비교를 통해 수행하였다. 비교에 사용한 변수는 육계군 높이에서 일정한 간격으로 측정된 55개 지점의 온도 및 비습도이다. 비교에 사용된 모델의 격자수와 격자질을 나타내는 최대 왜도 (skewness)는 다음의 표 3-5-1과 같다.

표 3-5-1 대상 시설 CFD 모델의 최대 격자 크기에 따른 모델 정보

최대 격자 크기 (m)	메쉬 개수 (만 개)	최대 왜도
0.1	2935	0.9121
0.2	487	0.9408
0.3	248	0.9424
0.4	194	0.9474
0.5	165	0.9672
1.0	115	0.9651

온도를 통해 산정한 격자 크기에 따른 정확도의 변화는 그림 3-5-1과 같다. 격자 크기 0.1m 모델을 통한 연산 결과와 크기 0.2m 모델의 연산 결과 간 결정계수는 0.940으로 두 결과가 잘 일치하는 경향을 보였다. 최대 격자 크기 0.3m 모델 역시 결정계수가 0.903으로 높은 수치가 산정되어 격자 크기 증가에 따른 모의치의 변화 정도가 미미한 것으로 판단된다. 그러나 0.5, 1.0m 크기 격자를 통한 연산 결과의 결정계수는 각각 0.593, 0.496으로 산정되었다. 본 연구의 동절기 육계사 CFD 모델의 inlet에 해당하는 입기 슬롯은 높이 0.05m로 매우 작은 크기이다. 모델 내부로 입기되는 유동의 정확한 모의를 위하여 해당 영역에 최소 15개 이상의 격자를 설계하였다. 최대 격자 크기 0.5, 1.0m 모델의 경우 입기구 주변 격자 크기의 급격한 변화와 격자 품질 저하가 발생하였으며, 이로 인하여 모델의 정확도가 하락한 것으로 판단된다.

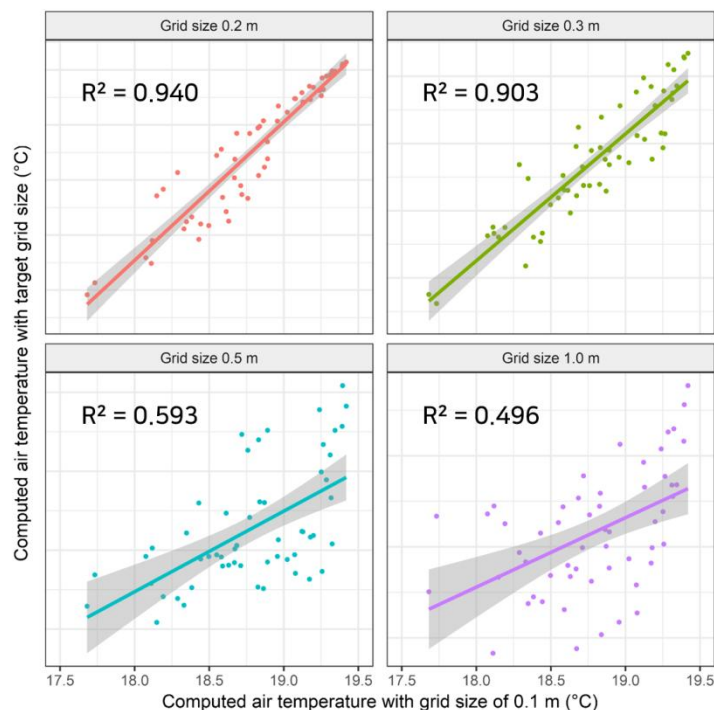


그림 3-5-1 온도를 통한 CFD 모델 격자독립성 시험 결과

동일한 방법과 육계군 높이의 비습도를 대상으로 시행한 격자독립성 시험 결과 역시 유사한 경향이 도

출되었다 (그림 3-5-2). 격자 크기 0.2, 0.3m 모델의 결정계수는 0.84 이상으로 비교적 높은 수치가 산정되었으나, 크기 0.5와 1.0m 모델의 경우 0.55 이하의 낮은 일치도를 나타냈다. CFD 모델의 격자 크기가 감소할수록 모델의 정확도는 전반적으로 개선된다. 그러나 격자 크기의 감소와 격자수의 증가에 의하여 모델의 수치 연산에 소요되는 시간과 컴퓨터 자원은 증가하여, 두 요소를 고려한 모델의 선택이 요구된다. 본 연구에서는 모델의 정확도가 합리적이며 연산 시간을 최소화할 수 있다고 판단되는 최대 격자 크기 0.3m의 모델을 선택하였다.

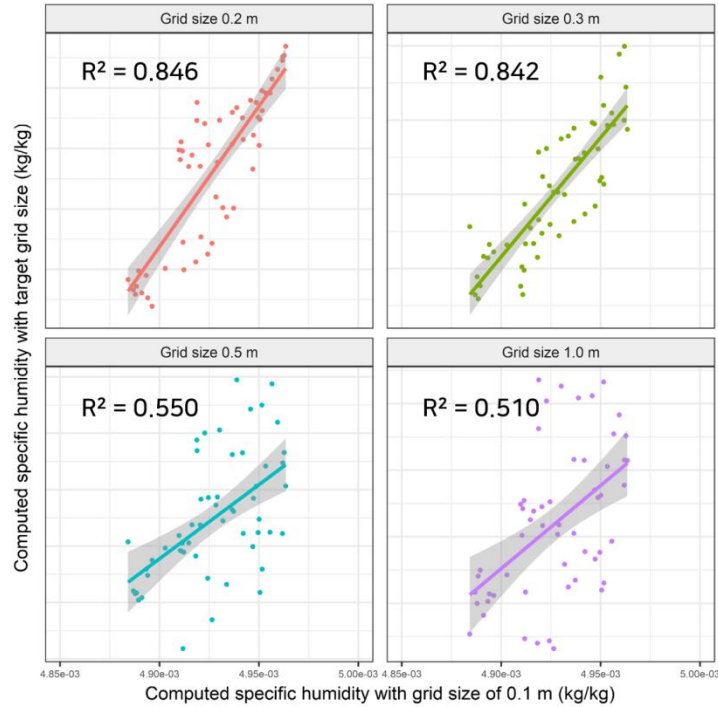


그림 3-5-2 비습도를 통한 CFD 모델 격자독립성 시험 결과

격자 독립성 시험을 통해 선정된 최대 격자 크기 0.3m 모델을 대상으로 난류 모델의 검증은 수행하였다. 검증 대상 난류 모델은 CFD 해석에서 일반적으로 이용되는 Standard k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε, Standard k-ω, SST k-ω의 5개 모델로 선정하였다. 각 난류 모델에 대하여 동일한 경계조건을 통한 연산을 수행하였으며, 대상 시설의 내부에 설치된 13개의 센서를 통해 실측된 온도와 비교 검증을 수행하였다. 실측지와 모의치의 비교는 ANOVA, R (Pearson correlation coefficient), RMSE (Root mean square error), RSR (RMSE-observations standard deviation ratio), Index of agreement (IOA)의 분석을 통해 판단하였다. ANOVA 분석은 공기온도에 대하여 측정 위치 (13개의 센서 위치)와 데이터 습득 방법을 나타내는 Method 변수 (실측 결과 혹은 CFD)에 대하여 유의성을 검정하였으며, Method의 p-value를 통해 모델의 적합 여부를 판단하였다. 각 모델의 정확도 평가 결과는 표 3-5-2와 같다.

표 3-5-2 난류 모델 검증 결과

난류 모델	p-value (ANOVA)	R	RMSE	RSR	IOA
Standard k-ε	1.41e-05	0.816	0.426	0.637	0.851
RNG k-ε	0.510	0.717	0.467	0.699	0.803
Realizable k-ε	< 2e-16	0.267	0.831	1.244	0.510
Standard k-ω	1.69e-04	0.592	0.582	0.871	0.697
SST k-ω	0.793	0.866	0.337	0.504	0.917

난류 모델 검증의 수행 결과, 모든 지표에서 SST k-ω 모델의 정확도가 가장 우수한 것으로 분석되었다. ANOVA 분석 결과 RNG k-ε과 SST k-ω 난류 모델의 p-value가 0.05를 초과하는 것으로 산정되어 실측한 온도와 CFD의 결과 간 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 분석되었다. 두 난류모델 중 실측치와 CFD를 통한 모의 결과의 경향 (상관계수), 오차의 크기 (RMSE) 및 상대적 오차의 비율 (RSR, IOA) 측면에서 가장 우수한 일치도를 나타낸 SST k-ω 모델과 최대 격자 크기 0.3m의 모델을 최종적으로 선택하였다. 선정된 모델의 위치에 따른 온도의 실측치와 CFD 연산 결과의 비교는 그림 3-5-3과 같다.

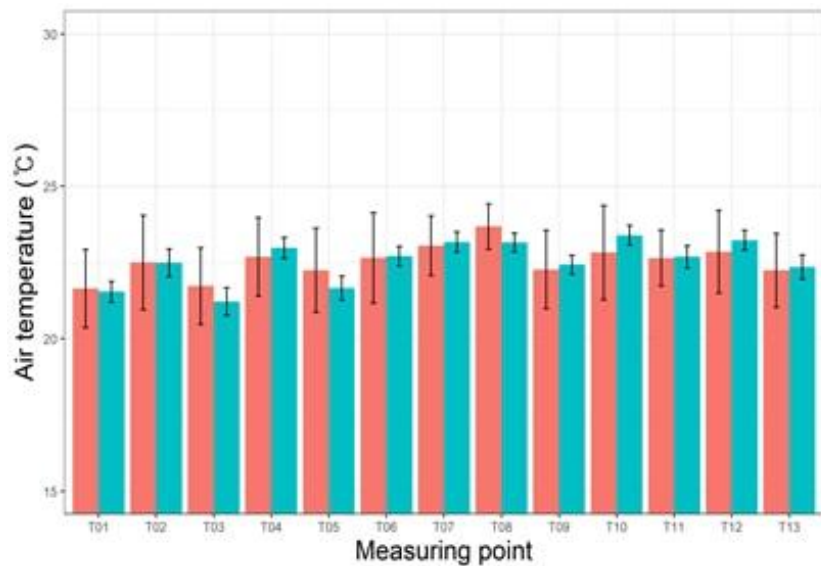


그림 3-5-3 현장 측정치와 CFD 모델의 비교 결과

○ 팬 성능 곡선을 통한 환기량 평가

실험 대상 계사는 강제환기를 통한 환경 조절을 시행하고 있었으며, 배기팬의 가동 주기를 조절하여 환기 레벨을 30 단계로 나누고 있었다. 대상시설의 환기량 설정은 배기팬의 설계상 최대 유량을 기준으로 산정된다. 그러나 실제 배기팬의 유량은 팬 성능 곡선과 정압의 분포 특성, 그리고 환기팬의 가동 주기에 따라 최대치보다 감소할 것으로 예상된다. 대상시설의 야간 및 동절기 시설 운영 조건의 모니터링 결과를 참고하여 환기레벨 2에서 8까지의 환기량을 모의한 결과는 그림 3-5-4와 같다.

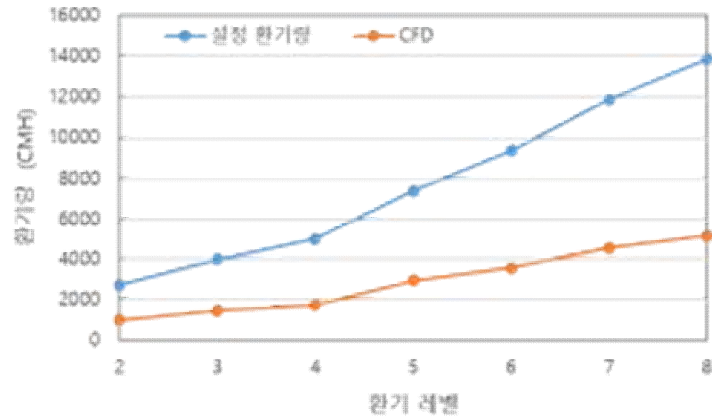
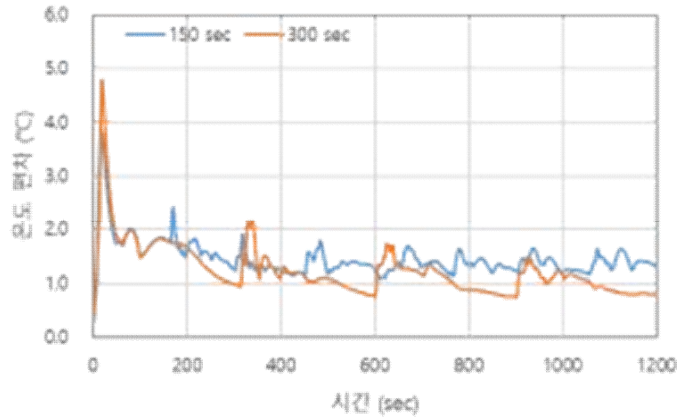


그림 3-5-4 CFD 모델을 통한 대상 육계사의 환기량 모의 결과

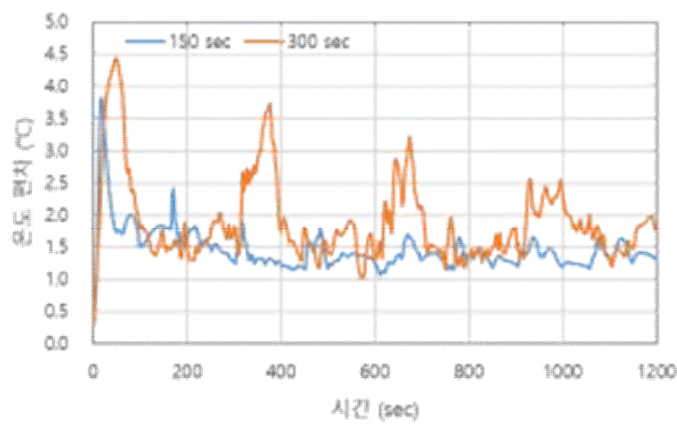
CFD 시뮬레이션 결과 동절기 환기량은 설정 환기량의 34.3~39.6% 수준으로 나타났다. 최대 감소율인 65.7%는 환기 레벨 2 (설정 환기량 2,700 CMH)에서 나타났으나, 환기량 감소율은 설정 환기량에 따른 뚜렷한 경향 없이 일정한 수치를 유지하였다 (상관계수 0.516). 환기량의 설정치 대비 감소의 원인은 과도한 시설 내외부 간의 정압력 차이가 발생했기 때문으로 분석된다. 대상 농장은 동절기에 입기슬롯을 통해 유입된 차가운 공기가 육계사 상부의 따뜻한 공기와 열교환 후 육계에 도달하게 하기 위하여 입기슬롯의 개방면적을 $0.05 \times 0.60\text{m}$ 로 제한하였다. CFD를 통한 분석 결과, 해당 조건에서 크로스배기팬 3개를 연속 가동할 경우 육계사 내외 정압차는 평균 31.0 Pa로 산정되었으며, 크로스배기팬 단면의 정압차는 평균 41.6 Pa로 산정되었다. 설정 환기량은 배기팬의 설계상 최대 환기량 (17,900 CMH)를 기준으로 산정되었으며, 대상시설의 최소 환기량의 설정도 해당 수치를 기반으로 운영되고 있었다. 육계사는 일반적으로 동절기와 야간, 육계의 일령이 낮은 경우에 유입 공기로 인한 저온충격을 방지하기 위하여 최소 환기를 실시한다. 최소 환기량은 육계사 내부의 수분 혹은 오염물질의 배출을 위한 환기량으로 산정된다. 따라서 최소환기의 시행 시 설정치보다 낮은 환기량이 적용되지 때문에 내부의 수분과 오염물질이 충분히 제거되지 않는 것으로 분석된다. 이를 보완하기 위하여 최소환기 시행 시 배기팬 가동 시간의 비율을 2.5~2.9배 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

○ 환기 주기 변화에 따른 온도 균일성 분석

야간 혹은 동절기 유입되는 공기의 유속을 일정 수준 이상으로 유지하기 위하여 일반적으로 강제환기식 육계사는 배기팬의 출력을 낮추는 대신 배기팬의 가동 주기를 조절한다. 대상 육계사 역시 주기 300초를 기준으로 배기팬의 가동 시간을 조절하는 방식을 통해 환기량을 제어하였다. 대상시설의 환경 모니터링 결과, 배기팬이 가동하는 시간 동안 외부의 차가운 공기가 지속적으로 유입되어 내부 온도의 편차가 증가하는 것으로 분석되었다. 이를 개선하기 위하여 전체 환기 주기를 150초로 단축하여 CFD 시뮬레이션을 진행하였다. 동절기 환기 운영 조건의 모니터링 결과를 고려하여 대표적인 케이스로 환기레벨 2와 8으로 유지되는 두 가지 조건에 대해 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과 설정 환기량과 환기 주기에 따른 내부 최대 온도 편차의 추이는 그림 3-5-5와 같다.



(a) 환기 레벨 2 (설정 환기량 2,700 CMH)



(b) 환기 레벨 8 (설정 환기량 13,860 CMH)

그림 3-5-5 환기 주기 변화에 따른 내부 온도 편차 변화

환기 레벨을 8로 설정한 CFD 시뮬레이션 결과, 환기 시작 초기에 최대 4.5°C의 큰 내부 온도 편차가 발생하였다. 현재 대상 육계사에서 적용하는 300초 주기의 환기를 시행할 경우에는 환기 20분 이상 2°C 이상의 높은 내부 온도의 편차가 발생하는 것으로 나타났다. CFD 시뮬레이션을 위한 초기조건 설정은 대상시설 내부에 유속이 없으며 균일한 온도 분포를 띄는 것으로 가정한다. CFD 시뮬레이션의 시작 시 환기 레벨이 바뀔 때 따라서 내부 온도 분포가 교란됨에 따라 내부 온도의 편차가 증가한 것으로 판단된다. 그림 3-5-6과 3-5-7는 환기 레벨 8 케이스에서 배기팬이 가동되고 있는 시기의 내부 온도 분포와 유동장이다. 온도 분포 컨투어를 통하여 대상시설의 중앙부에 17~18°C의 상대적으로 높은 온도 분포가 형성되나, 벽체 인근의 지역의 온도는 16°C 미만인 것을 확인할 수 있다. 측벽의 입기슬롯을 통과하여 시설 내부로 유입된 공기가 시설 중앙으로 이동하며 (그림 3-5-7), 이로 인하여 시설 중앙과 벽체 인근의 온도 편차가 형성되고 있다. 특히 대상시설의 쿨링패드 인근 지역 (그림 3-5-6)에서 상대적으로 낮은 온도가 관측된다. 대상시설은 출입구 인근에 길이 24m의 쿨링패드가 설치되어 있으며, 나머지 36m의 구역에 크로스배기팬 3대가 설치되어 있다. 크로스배기팬의 비대칭적인 위치로 인하여 크로스 환기의 시행 시 CFD 분석 결과와 같은 불균일한 온도 환경이 형성될 수 있는 것으로 분석된다.

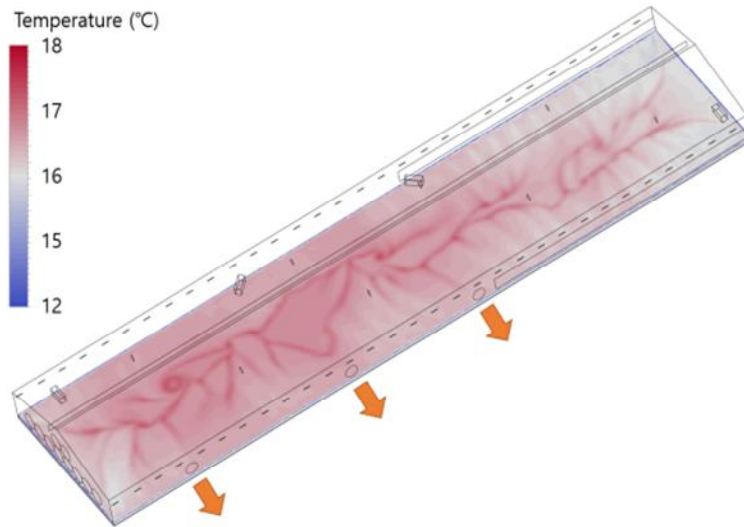


그림 3-5-6 육계사 환기 레벨 8 설정 시 내부 온도 분포

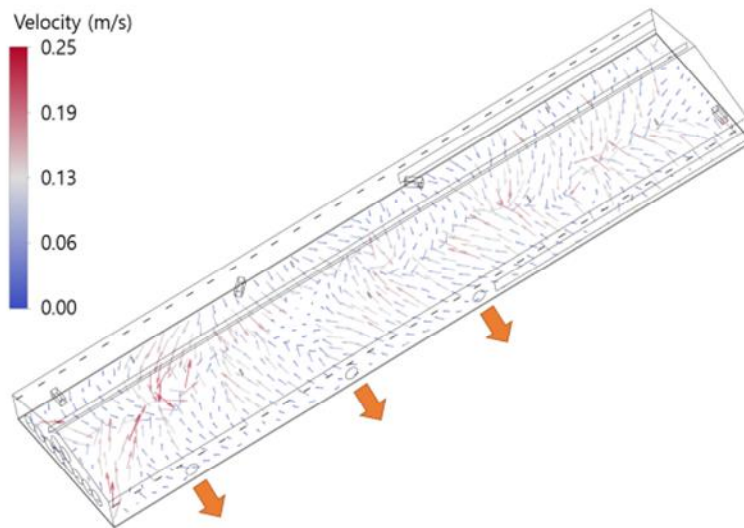


그림 3-5-7 육계사 환기 레벨 8 설정 시 내부 유동장

반면 환기팬의 가동주기를 150초로 단축할 경우 첫 두 번의 사이클 (5분) 이후 내부 온도 편차는 2°C 미만으로 유지되었다. 환기팬의 연속 가동 시간이 77초에서 절반으로 줄어들어 따라서 내부 환경의 균일성이 개선된 것으로 사료된다. 환기 레벨 2를 적용한 케이스의 경우 전체 주기 300초와 150초 모두 유사한 수준의 온도 편차가 관측되었다. 환기 레벨 2의 경우 배기팬의 연속 가동 시간 (15초)이 내부에 그림 3-5-7과 같은 유동장을 형성하기에 충분치 않은 것으로 분석된다. 대상시설의 제어 프로그램 모니터링 결과 환기 레벨은 내부의 열 축적 혹은 외부 기온의 변화 등의 요인으로 인하여 빈번히 변경되며, 환기 레벨의 상승 시 그림 3-5-5(a)와 같이 불균일한 온도 환경이 형성될 우려가 있다. 외기 온의 유입으로 인한 저온 충격을 예방해야하는 동절기의 경우 높은 환기량 적용 시 환기 주기를 단축시켜 환경 균일성을 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다.

○ 스크린 설치 여부에 따른 온도 균일성 분석

대상시설의 천장에는 과거 시설 내부의 구획을 구분하기 위해 사용된 스크린이 설치되어 있다. 강제 환기식 육계사 측벽에 설치된 입기슬롯을 통해 유입된 공기는 시설 상부의 뜨거운 공기의 열 교환을 위

하여 천장의 경사를 따라 이동한다. 천장에서 약 0.56m 떨어진 스크린은 이러한 유입 공기의 기류를 방해할 가능성이 있다고 판단하여 스크린의 설치 유무에 따른 CFD 시뮬레이션을 시행하였다. 그림 3-5-8은 스크린의 유무에 따른 내부 유동장 및 온도 분포이다. 시뮬레이션 결과 스크린이 존재할 경우 좌측 입기슬롯에서 유입된 공기가 스크린에 의해 하강하는 경향이 도출되었다. 반면 스크린을 제거할 경우 왼쪽 슬롯에서 유입된 공기의 유동이 원활하게 형성되었다. 크로스배기팬을 연속 가동하는 조건을 모의할 경우 스크린의 설치 시와 미설치 시 옥계 높이의 평균 온도는 각각 9.7°C와 9.6°C로 큰 차이가 존재하지 않았다. 내부 옥계 높이의 55개 지점의 온도를 비교한 결과 스크린을 설치할 경우 최대 온도 편차는 1.7°C, 변동 계수는 3.2%로 산정되었다. 스크린이 존재하지 않을 경우 최대 온도 편차와 변동 계수는 각각 0.8°C와 2.0%로, 스크린이 옥계 높이의 온도 균일성을 저해하는 것으로 해석된다. 스크린에 의한 수직 기류의 형성으로 인해 스크린의 하부에 국소적인 지역의 온도가 하강하였기 때문으로 분석된다.

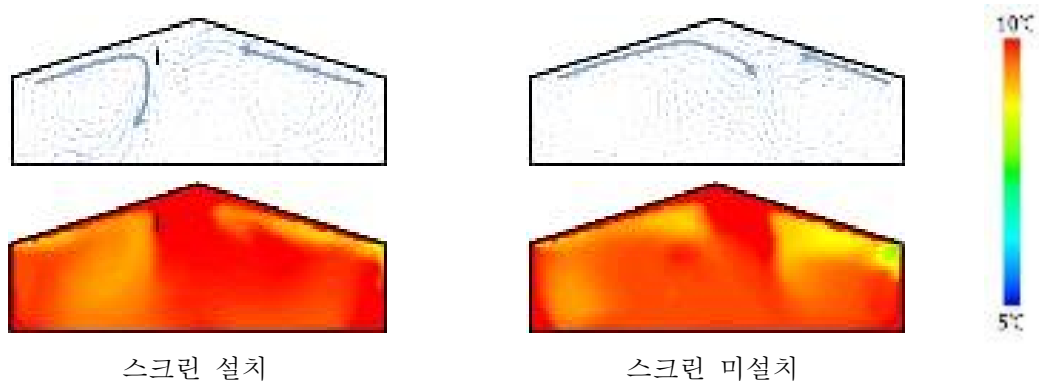


그림 3-5-8 옥계사 스크린 설치 유무에 따른 유동장 및 내부 온도 분포

3.5.2 CFD를 이용한 대상 비육돈사에 환경 개선 연구

○ 비육돈사 CFD 모델의 설계 및 검증

CFD 시뮬레이션 모델의 정확성과 신뢰성을 확보하고 연산 효율성을 고려하기 위하여 센서가 설치된 동일한 위치에서 현장측정값과 CFD 연산값을 비교하여 난류모델과 격자크기 검증 (총 20가지 조건)을 수행하였다. 우선적으로 다양한 격자크기 (0.2, 0.5, 0.7 및 1.0m)를 대상으로 격자독립성시험을 수행하였다. 각 격자크기 (0.2 (그림 3-5-9(a)), 0.5 (그림 3-5-9(b)), 0.7 (그림 3-5-9(c)), 1.0m)의 CFD 연산값과 현장측정값 사이의 R^2 (그림 3-5-9(d))을 그림 3-5-9에 나타냈다. 격자크기가 1.0m 일 때 CFD 시뮬레이션을 통하여 모의된 공기온도와 습도값의 R^2 값은 0.83과 0.87이었고 반면, 0.2m의 격자크기에 대한 CFD 모의된 공기온도와 습도값과 현장측정값의 R^2 값은 각각 0.93 및 0.95였다. 격자크기가 감소함에 따라 CFD 연산값의 정확도가 점차 증가했고 격자크기가 0.2m인 경우 공기온도 및 습도에 대한 현장측정값과 CFD 연산값 사이의 IoA 값은 각각 0.86 및 0.84이었다.

난류 모델의 경우, k-ε 모델 중 Realizable k-ε 난류 모델이 공기온도와 습도값에서 가장 높은 R^2 값을 보였다 (각각 0.93과 0.95). 또한 공기온도와 습도에 대한 IoA 값은 각각 0.84와 0.86이었다 (표 3-5-3). 수치 해석에서 가장 일반적으로 사용되는 Standard k-ε 난류 모델을 적용했을 때 공기온도와 습도에 대한 R^2 값은 각각 0.85와 0.80이었고, IoA 값은 공기온도와 습도값에 대해 각각 0.72와 0.62였다. Realizable k-ε 난류 모델이 Standard k-ε 모델보다 더 높은 정확도를 나타냈다. 이는 Realizable k-ε 난류 모델은 Standard k-ε 모델과 달리 다양한 형태의 난류 소산 및 점성 방정식을 풀어 회전 유동, 분리, 재순환 및 큰 압력 구배에 일반적으로 적합하기 때문에 더 정확한 결과를 나타낼

수 있는 것으로 판단되었다 (Hong et al., 2017; Shih et al., 1995). 이러한 이유로 대상 비육돈사를 시뮬레이션 하기 위하여 연산 영역 내 0.2m의 격자크기와 Realizable k-ε 난류 모델을 적용하였다.

선택된 격자크기와 난류 모델 적용시 모의된 비육돈사 내부 12개 지점의 공기온도와 습도값을 표 3-5-3에 나타내었다. 센서 P1 ~ P3 (복도 주변)의 평균 기온은 26.8 °C를 나타내고 현장측정값은 CFD 연산값과 비교하여 +0.5°C 오차를 보였다. 이는 CFD 시뮬레이션 모델에서 윈치커튼으로부터 침기를 구현하는 기술적 한계로 인해 다른 점에 비해 오차가 상대적으로 높은 것으로 판단되었다. 센서 P4 ~ P9 (중심 부근)에서 평균 공기온도는 27.2°C였고, 시뮬레이션으로부터 모의된 공기온도는 평균 26.8°C였다. 높이가 높아짐에 따라 공기의 부력 효과로 공기온도가 상승했고, 공기온도가 증가함에 따라 포화수증기의 양이 증가하기 때문에 절대습도 또한 증가하는 경향을 보였다. 측벽으로부터 각각 9.5m 및 13.5m 지점에 위치하는 센서 P7 ~ P9과 센서 P10 ~ P12의 평균 공기온도는 각각 27.2°C 및 27.8°C였다. 평균 절대습도 값은 각각 16.4 g kg⁻¹ 및 17.2 g kg⁻¹이었다. 윈치커튼이 설치된 측벽으로부터의 거리가 증가함에 따라 공기온도 및 절대 습도가 증가하는 경향이 있었다. 센서 P7에서 P12까지의 절대습도의 오차는 다른 점들에 비해 상대적으로 높았다. 이는 현재까지 CFD 시뮬레이션 모델에서 수분 변화와 수분 축적을 완전히 구현하는데 기술적 한계가 있다고 판단되었다.

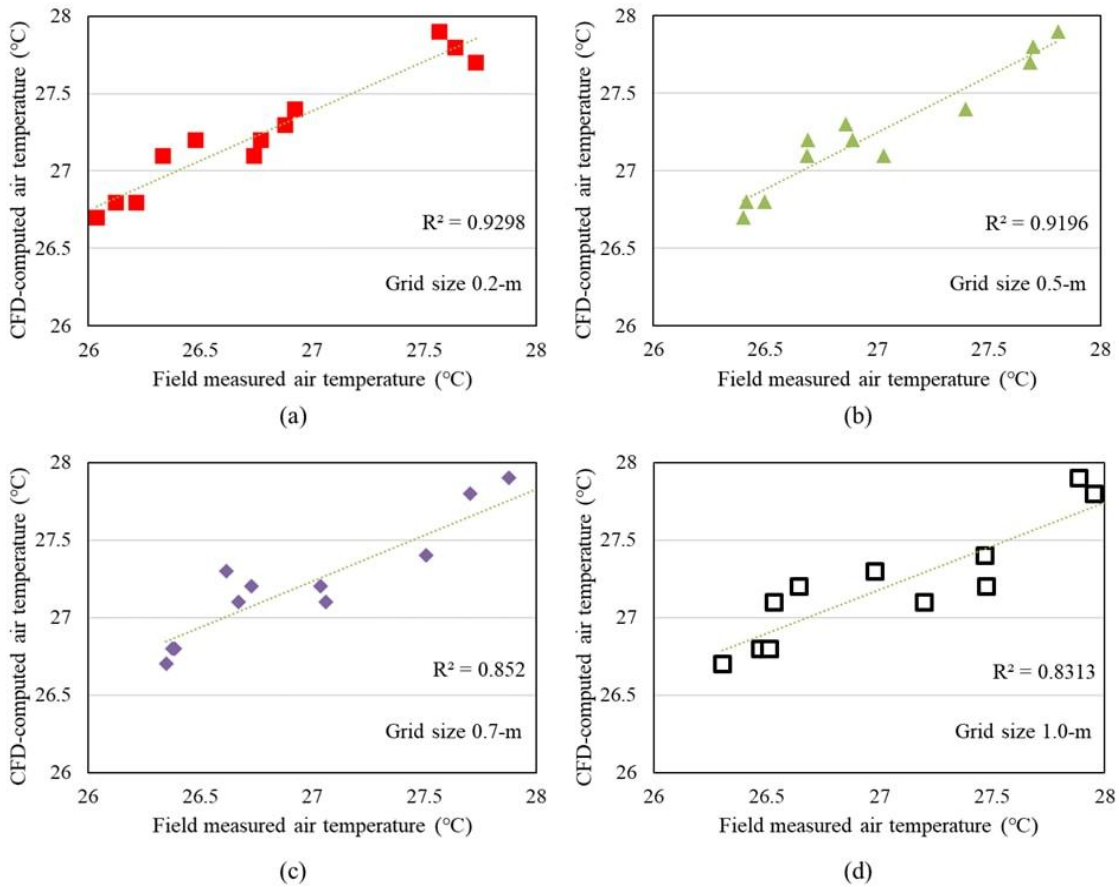


그림 3-5-9 격자크기별로 Realizable k-ε 난류모델을 적용하였을 때 CFD 연산값과 현장측정값간의 상관분석; (a) 격자크기 0.2m, (b) 격자크기 0.5m, (c) 격자크기 0.7m, (d) 격자크기 1.0 m

표 3-5-3 현장측정값과 CFD 연산값의 비교를 통한 통계적 유효성 분석

Measurement	Air temperature (°C)			Absolute humidity (g kg(DA) ⁻¹)		
	Field-	CFD-	Error	Field-	CFD-	Error

points	measured values	computed values		measured values	computed values	
P1	26.8	26.3	0.5	16.4	16.5	-0.1
P2	26.7	26.3	0.4	16.2	16.3	-0.1
P3	26.8	26.2	0.4	16.3	16.3	0
P4	27.1	26.4	0.7	16.3	16.5	-0.2
P5	27.2	26.8	0.4	16.4	16.3	0.1
P6	27.4	27.2	0.2	16.8	16.6	0.2
P7	27.1	27.0	0.1	16.0	16.4	-0.4
P8	27.3	26.8	0.5	16.8	16.5	0.3
P9	27.2	26.7	-0.5	15.9	16.3	-0.4
P10	27.7	27.9	-0.2	18.1	17.6	0.5
P11	27.9	27.6	0.3	18.1	17.1	1.0
P12	27.8	27.5	0.3	17.4	16.9	0.5
R ²	0.93			0.95		
d	0.86			0.84		

○ 지붕 배기팬 또는 입기덕트의 구멍 간격 효과

비육돈사에서 온·습도 모니터링으로부터 배기팬 주변의 미기상 환경 (온도, 습도, 가스, 분진 등)에 대한 환경 분포가 상대적으로 다른 지역과 비교하여 열악한 것으로 분석되었다. 또한, 비육돈사의 외부온도와 내부온도의 차이가 크게 발생할 경우에는 환기량을 충분히 공급하지 못하는 문제점이 있었다. 따라서 다양한 시뮬레이션 모델을 통하여 이에 대한 개선안을 찾고자 하였으며, 개선안으로는 입기덕트의 토출구 간격을 조절하는 방법, 지붕 배기팬을 적용하는 방법, 전실을 설치하는 방법에 대하여 분석해보고자 하였다.

첫 번째 입기덕트의 토출구 간격을 조절하는 방법의 경우에는 현재 입기덕트의 토출구 간격이 균일하게 설치되었을 때와 비교하여 입기덕트의 토출 구멍간격을 배기팬 쪽으로 갈수록 점점 감소시켰을 때와 증가시켰을 때를 분석하여 개선 정도를 파악하고자 하였다 (그림 3-5-10). 표 3-5-4는 입기덕트의 토출구 간격 조건에 따른 공기온도 및 습도에 대한 모의 결과를 나타낸다. 각 조건별로 돈방 내부의 돈군 높이에서의 공기온도, 상대습도, 그리고 공기온도에 대한 표준편차를 분석하였다. 또한 입기덕트 내부의 압력 분포 변화에 따른 덕트 내부에서의 공급되는 공기온도에 대한 평균값과 편차값을 추가적으로 분석하였다. 입기덕트의 간격이 균일하게 천공되어 있는 조건의 경우, CFD 모의된 돈방 내부의 평균 공기온도는 26.9°C를 나타냈으며, 동시에 온도 편차가 0.56°C를 보였다. 이 때, 덕트를 통하여 유입되는 공기의 온도 평균값과 편차값은 각각 15.9°C와 2.0°C로 나타났다. 동절기의 경우에는 배기팬의 유량이 낮게 유지되어 덕트 내부에서의 공기 흐름은 층류를 형성되기 때문으로 판단되었다. 또한 현장에서 측정된 결과와 동일하게 다른 벽체 조건과 달리 윈치커튼의 경우에는 단열성능이 낮기 때문에 상대적으로 낮은 공기온도가 복도측에서 형성되었으며, 공기온도는 배기 방향으로 갈수록 증가하는 분포를 나타냈다 (그림 3-5-11). 입기덕트의 토출구의 간격을 배기 방향으로 점차적으로 증가시킨 조건 2의 경우에는 돈군 높이에서의 평균 공기온도가 조건 1과 비교하여 0.4°C 증가하여 27.3°C를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 그림 3-5-11(b)와 같이 열 환경 분포에 있어서 배기팬 주변의 환경이 상대적으로 더욱 열악해지는 것으로 모의되었고 이러한 이유로는 입기덕트로부터 유입된 공기가 배기 방향으로 이동하면서 내부의 공기와의 열교환을 통하여 점차적으로 공기온도가 증가하기 때문으로 판단된다. 반대로 덕트의 구멍 간격을 점차적으로 감소시킬 경우에 있어서 덕트 내부의 평균 공기온도는 15.2°C,

편차는 3.4°C를 나타내 실험 비육돈사와 물리적 구조가 동일한 조건 1과 비교하여 입기덕트 내부에서의 공기온도는 0.7°C감소하지만 입기덕트의 내부 공기온도가 1.4°C 편차가 증가하는 것으로 모의되어 돈군에 공급시에 돈군에 더욱 큰 저온 스트레스를 미칠 것으로 판단되었다. 돈군 높이에서의 평균 공기온도는 조건 1과 비교하여 0.5°C증가하는 것으로 나타났으며, 공기온도의 표준편차는 3가지 조건에 있어서 가장 낮게 모의되어 돈군 높이에서의 온도 균일성이 상대적으로 높음을 확인할 수 있었다. 이는 입기덕트로부터 유입되는 공기가 다른 조건들과 달리 많은 공기의 양이 입기덕트에서 머무는 체류시간이 많이 때문에 전도, 대류 열교환으로 돈방 내부의 공기와 공급되는 공기의 온도차가 적기 때문으로 판단된다. 따라서 조건 3에서는 조건 1과 비교하여 입기덕트를 통하여 공급되는 공기온도 (15.9°C)가 0.9°C 상승되어 16.8°C가 입기되고 표준편차는 1.1°C로 감소되었다. 그러나 그림 3-5-11(c)와 같이 배기팬의 환기량이 매우 낮음에도 불구하고 배기팬 주변으로의 질량유량이 증가하기 때문에 Reverse flow가 발생하였다.

비육돈사 내부의 미기상 환경을 개선하기 위하여 3가지 CFD 시뮬레이션 모델을 모의한 결과로부터 입기덕트의 토출구 간격 변화를 통하여 덕트 주변에서의 열적 환경을 완화할 수 있는 것으로 판단되었다. 그러나 상대습도 측면을 동시에 분석하게 되면 조건 1에서 80%로 유지되는 상대습도가 조건 2에서는 88.2%에 가깝게 모의 되었으며 조건 3에서는 90.7%의 상대습도가 형성되었고 농촌진흥청 축산과학원에서 제시하는 적정 생육환경 조건과 비교하면 권장 습도 수준 (60~80%) 이상으로 나타났다. 이를 통하여 습도 환경에 대해서는 적절치 못한 것으로 판단되었고 비육돈사 내부의 환경 개선을 위하여 입기덕트의 토출구 간격을 조절하는 것에 있어서 현장 적용성은 한계가 있을 것으로 판단되었다.

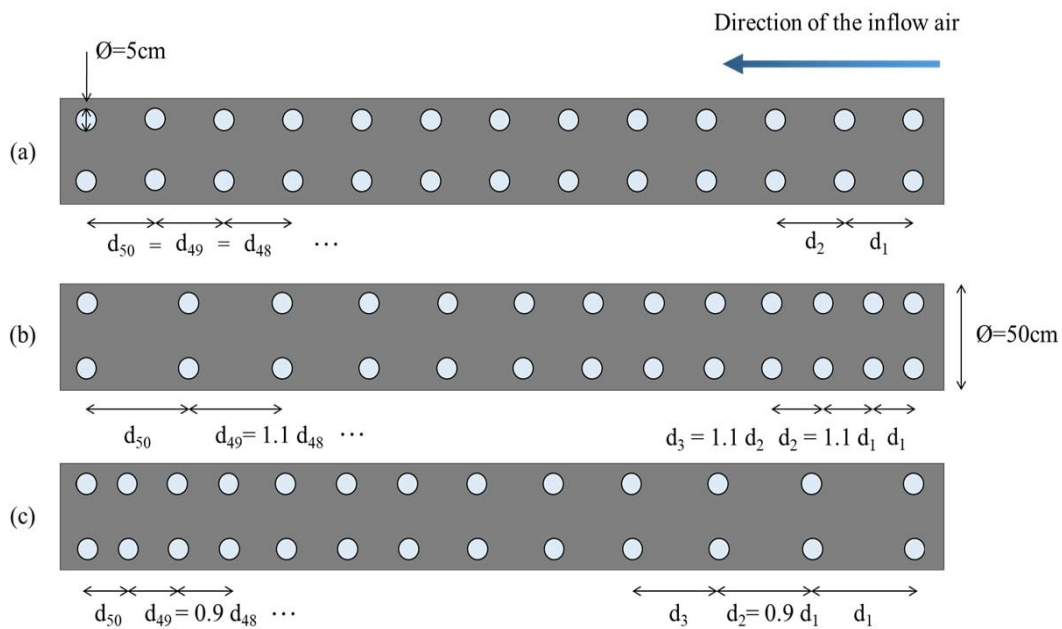


그림 3-5-10 입기덕트의 구멍 간격 조건 (a) 배기방향으로 토출구의 간격이 균일한 조건; 조건 1 (b) 배기방향으로 토출구의 간격이 점차적으로 증가하는 조건; 조건 2 (c) 배기방향으로 토출구의 간격이 점차적으로 감소하는 조건; 조건 3

표 3-5-4 입기덕트의 토출구멍 간격 조건에 따른 공기온도 및 습도 분석

	조건 1	조건 2	조건 3
Average air temperature at pig height (°C)	26.9	27.3	27.4
Relative humidity (%)	79.3	88.2	90.7
Standard deviation for air temperature at pig height (°C)	0.56	0.87	0.55
Supply air temperature through duct (°C)	15.9	15.2	16.8
Deviation of supply air temperature through duct (°C)	2.0	3.4	1.1

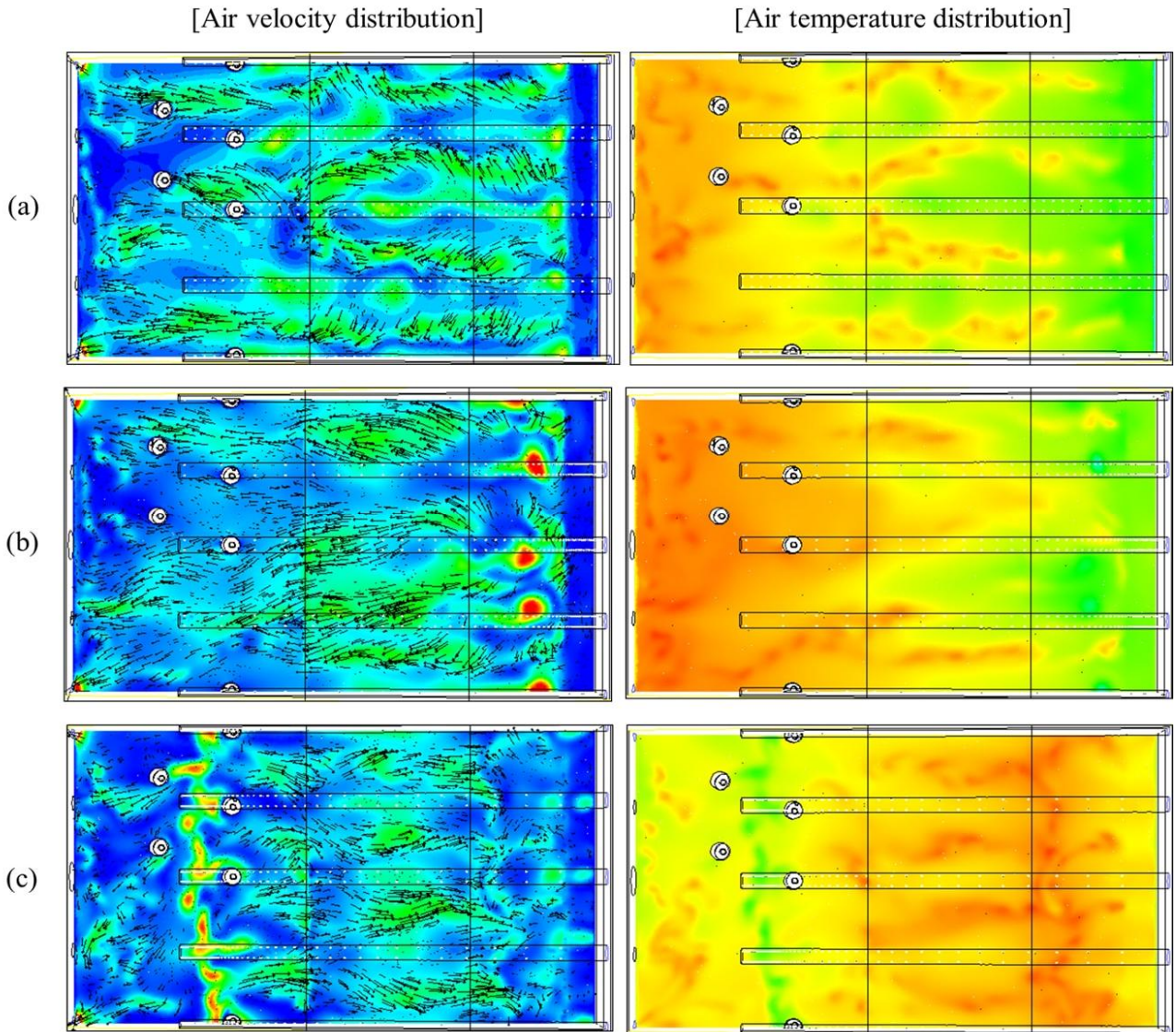


그림 3-5-11 입기덕트의 구멍 간격 조건에 따른 돈사 내 돈군 높이에서의 공기 유속 및 온도 분포 (a)

배기 방향으로 입기덕트의 토출구 간격을 균일하게 설계한 조건, (b) 배기방향으로 입기덕트의 토출구 간격을 점차적으로 감소시켜 설계한 조건, (c) 배기방향으로 입기덕트의 토출구 간격을 점차적으로 증가시켜 설계한 조건.

또한 배기팬 주변으로의 미기상 환경이 열악해지는 것을 개선하고, 돈군에 직접적으로 도달하는 외기를 최소화하기 위하여 지붕굴뚝배기팬을 설치할 경우에 대한 효과를 모의하였다 (그림 3-5-12). 지붕굴뚝배기팬을 설치하지 않은 기존의 모델에 대해서 조건 0이고 측벽 배기를 통하여 환기를 실시할 경우 돈군 높이에서의 온도는 26.8°C이다. 측벽 배기팬 주변 (입기구로부터 9.5~17.2m 구간)의 공기온도 평균은 27.2°C를 보였으며, 배기팬 주변이 0.4°C 높은 것을 알 수 있다. 이는 돈사 구조가 비대칭의 구조로 배기팬 주변에서의 체적 (열용량)이 적으며, 공기가 입기구로부터 배기구로 이동하면서 열교환에 따라 공기온도가 증가한 것으로부터 기인한 것으로 판단된다.

지붕굴뚝배기팬의 위치와 대수를 다양하게 하여 CFD 시뮬레이션 모의한 결과는 조건 1에서 조건 9 까지이다 (표 3-5-5). 지붕굴뚝배기팬을 설치하였을 때 돈군 높이에서의 평균 공기온도는 27.3°C를 나타내고 있으며, 지붕굴뚝배기팬을 설치하였을 때, 오히려 0.5°C 공기의 온도가 증가하는 것으로 모의되었다. 이는 측벽배기팬을 이용하여 환기를 실시할 경우에 있어서는 비육돈사의 상승부 공기가 더욱 효과적으로 교환되는 것으로 판단되었다. 그러나 대조적으로 지붕굴뚝배기팬을 적용하였을 경우에는 현행 축산 표준설계도에서 지붕굴뚝배기팬을 적용할 때 덕트의 길이를 슬러리피트로부터 1.5m 거리에 설치되는데 이 경우에는 1.5m 이내의 배기의 경우에는 원활하게 되는 반면에 그 이상 높이의 경우에는 대류 열교환이 적은 것을 확인할 수 있었다. 즉, 배기팬 주변의 미기상 환경을 개선하기 위해서는 현행 기준서 상의 설치 위치 기준을 적용하였을 때 지붕굴뚝배기팬의 경우에는 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 유동 해석 결과로부터 덕트로 인하여 상층부의 공기와의 대류 열교환이 적은 것으로 판단되었기 때문에 지붕굴뚝배기팬이 설치되는 덕트의 길이를 감소시킨다면 보다 긍정적인 효과가 나타날 것으로 사료되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

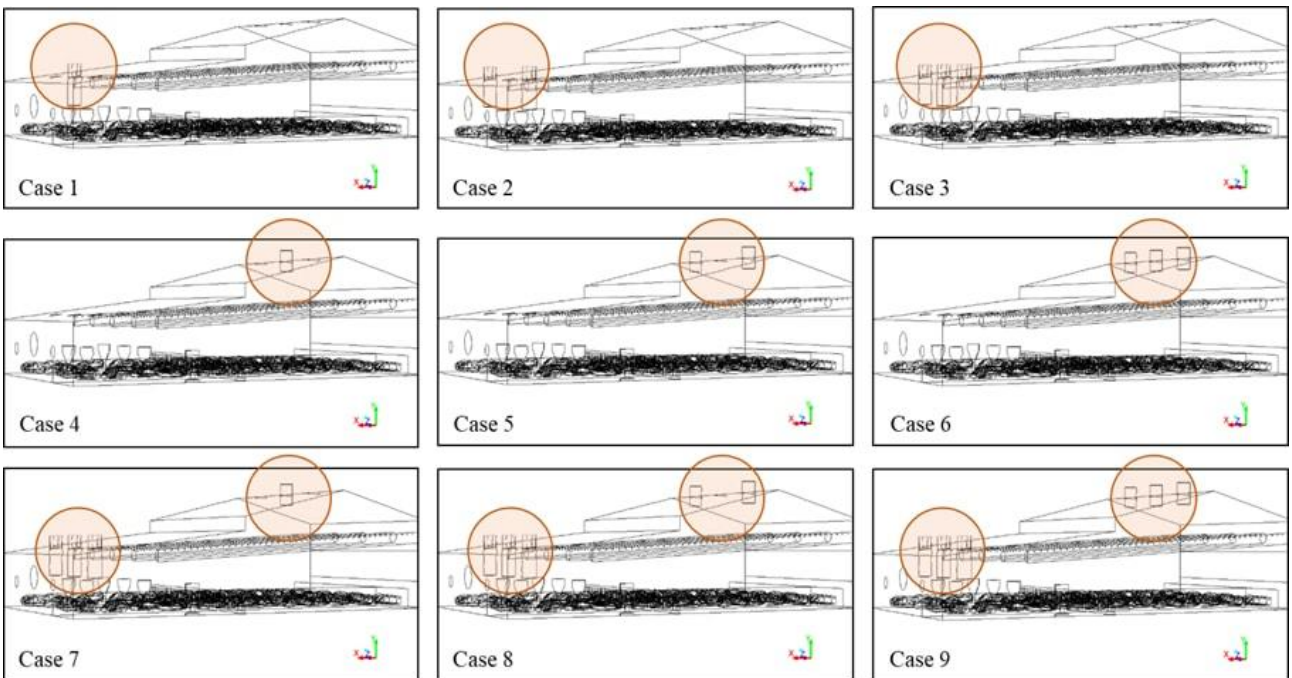


그림 3-5-12 비육돈사 내부의 사육 환경 개선을 위한 지붕굴뚝배기팬 설치 조건

표 3-5-5 지붕굴뚝배기팬의 설치 조건에 따른 공기온도 분포

Cases	Average air temperature at a height of 1.0 m (°C)	Average air temperature (section 0~9.5 m, °C)	Average air temperature (section 9.5~17.2 m, °C)
조건 0	26.8	26.5	27.2
조건 1	27.3	27.0	27.6
조건 2	27.3	27.0	27.7
조건 3	27.3	27.0	27.5
조건 4	27.2	26.9	27.7
조건 5	27.2	26.9	27.6
조건 6	27.2	26.9	27.7
조건 7	27.2	26.9	27.6
조건 8	27.2	26.9	27.6
조건 9	27.2	26.9	27.7

○ 전실을 이용한 유입공기온도 증가를 위한 외부 전실 체적에 따른 분석

대상 비육돈사의 경우에는 환절기와 동절기에 일교차가 10°C이상 발생하는 기존 축사의 문제점을 확인할 수 있고 이로 인하여 돈사 내부에 환기를 충분히 할 수 없었다. 일반적으로 일교차가 10°C이상으로 차이가 발생할 시에는 환절기에 양돈장에서는 온도 편차에 의한 영향을 받기 쉽다. 대표적인 온도 편차에 의한 영향은 생체 대사기능 저하되고 면역체계 약해진다. 또한 돈사 내에서의 각종 병원균들 발생과 농도 증가가 쉬우며, 호흡기 질병을 비롯하여 질병의 발생 위험률 증가 등의 영향을 받게 된다. 따라서 비육돈사 내 돈군으로 유입되는 저온의 공기 유입을 방지하기 위하여 덕트로 부터 입기되는 공기의 온도를 증가시키기 위하여 비육돈사 외부에 전실형태의 공기층을 확보하고 외부의 차가운 공기가 유입될 때 해당 공간에서 공기가 어느 정도 혼합되어 상대적으로 높은 온도로 축사 내부 공간에 제공되도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 기존의 외부 전실형태의 공기층이 없는 조건 (조건 0)과 0.4m²의 단면적을 갖는 조건 1, 0.8m²의 공기층 체적을 갖는 조건 2, 1.2m²의 단면적을 갖는 조건 3, 그리고 2.0m²의 단면적을 갖는 조건 4로 분류하여 각 공기층 단면적에 따른 저온 스트레스를 완화하기 위한 효과를 분석하고자 하였다 (그림 3-5-13). 대상 비육돈사 내부에 외부의 차가운 공기가 직접적으로 유입되는 것을 막고 공급되는 공기의 온도를 최대한 높이기 위하여 전실 (공기원충공간)을 설계하였다. 표 3-5-6은 전실 설치에 단면적과 배기팬의 배기 유량에 따른 CFD 시뮬레이션 연산 결과를 나타낸다.

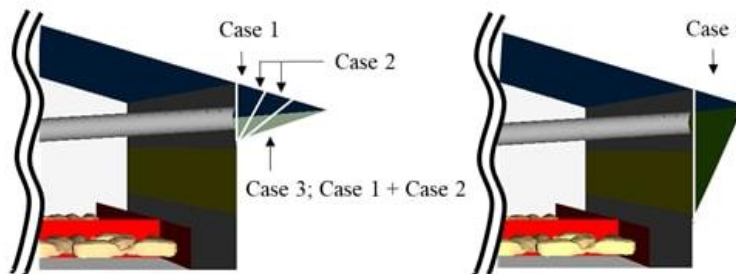


그림 3-5-13 CFD 시뮬레이션을 이용한 외부 공기 혼합 공간 체적에 따른 케이스 분류

환기량은 전실의 단면적의 크기에 따라 증가시킬 수 있었다. 전실이 설치하지 않았을 경우, 비육돈의 권장 사육 온도 (21°C)를 충족시키기 위해서는 50 CMM의 환기량이 설정되어야 한다. 그러나 환기 제어기의 설정 공기온도를 25°C (농장주 요구 온도)를 유지하기 위해서는 이의 절반인 25 CMM의 공기 교환만 이루어져도 충분한 것으로 분석되었다. 이것은 대상 비육돈사에서 환기 제어기의 설정 온도가 비정상적으로 높게 설정된 것을 의미한다. 단면적이 2m²인 전실 공간 (조건 4)을 설계한 경우 환기량은 65 CMM으로 설정하더라도 공기온도를 25°C로 유지할 수 있었으며, 기존의 비육돈사 모델 (조건 0)과 이 외 모델 (조건 1~4)을 비교한 결과, 돼지 높이의 평균 기온은 환기율과 단면적의 크기에 따라 2.0°C~5.2°C까지 증가했다. 이는 덕트로부터 공급되는 공기의 온도가 열교환 (대류 및 전도)이 증가로 판단되었다. 또한 그림 3-5-13과 같이 전실을 설치하게 될 경우에는 비육돈사 외부의 차가운 공기가 아무리 낮은 환기량임에도 불구하고 동물군 (AOZ, Animal Occupied Zone)에 직접적으로 영향을 주지 않고 윈치커튼으로부터 발생하는 열 손실 역시 감소시킬 수 있는 것으로 판단되었다.

동절기와 환절기에는 일반적으로 환기량이 매우 낮아 덕트 내부의 공기온도가 매우 낮았다. 따라서 그림 3-5-14(a)와 같이 덕트 내부의 공기온도 증가율이 큰 것으로 판단된다. 배기팬이 25 CMM으로 작동할 때, 전실의 각 단면적에 대한 돈사 내부에서의 평균 공기온도는 조건 1에서 15.7°C, 조건 2에서 16.7°C, 조건 3에서 17.4°C 그리고 조건 4에서 18.9°C를 보였다. 이를 기존의 모델인 조건 0 (14.4°C)와 비교하면 전실의 단면적 크기에 따라 각각 9.3%, 16.1%, 21.2%, 28.8% 개선되었다. 조건 4는 입기 덕트의 초입 부분에서 17.1°C의 공기온도를 보였으며 이는 조건 0과 비교하여 5.7°C 높았다.

비육돈사 내외부의 공기가 35 CMM으로 교환시에는 덕트 내부의 온도가 기존의 조건 0 (13.1°C)와 비교하여 평균적으로 1.5°C까지 입기덕트 내부의 공기온도가 증가하였다. 이보다 더 큰 전실의 단면적을 갖는 조건 4에서는 평균적으로 입기덕트로 공급되는 공기의 온도가 3.7°C까지 상승함을 보였다. 이는 앞서 언급한바와 같이 전실은 하나의 공기완충공간으로 작용하여 전도에 의한 열 손실을 방지하고 외부 유입 공기의 돈방 내 유입 체류시간을 증가시킴으로써 온도를 개선한 것으로 판단된다. 또한 환기량을 더욱 증가시킨 70 CMM의 공기를 교환할 경우에는 입기덕트 내부의 평균 기온은 단면적에 따라 평균 13.6°C에서 15.6°C를 보였다. 전실이 없는 입기덕트 내부 평균 공기온도가 12.1°C이었으며 이는 환기량이 25 CMM으로 작동할 때보다 공기온도가 2.3°C 더 감소하였다. 이러한 결과로부터 농장주가 경험에 의하여 설정하고자 하는 사육 환경 (25°C)를 유지하기 위해서는 기존의 대상 비육돈사의 환기율에 비교하여 전실을 설치할 경우 2배 이상으로 설정할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 21°C의 최적 공기온도와 50~80%의 상대 습도를 충족시키기 위해서는 50 CMM의 배기팬 설정이 바람직한 것으로 판단되었다. 그러나 이러한 경우에는 입기덕트에서 공급되는 평균 공기온도가 낮기 때문에 비육돈사에서 내부에서 체온 유지를 위한 돼지들의 밀집 현상이 발생할 수 있으며 기침과 같은 호흡기성 질환이 생길 가능성이 크다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 공기완충공간으로써 전실을 설치하여 환기량을 높이는 것이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-5-6 전실 공간 체적과 환기 조건에 따른 돈군 높이에서의 평균 공기온도

CMM	조건 0	조건 1	조건 2	조건 3	조건 4
10	26.7	28.7	28.7	28.7	30.0
25	24.2	27.0	27.1	27.2	28.4
35	22.5	25.4	25.5	25.6	27.0
50	20.8	24.2	24.4	24.4	25.9
65	19.7	23.2	23.4	23.6	25.0
70	18.6	22.7	22.9	23.1	23.9

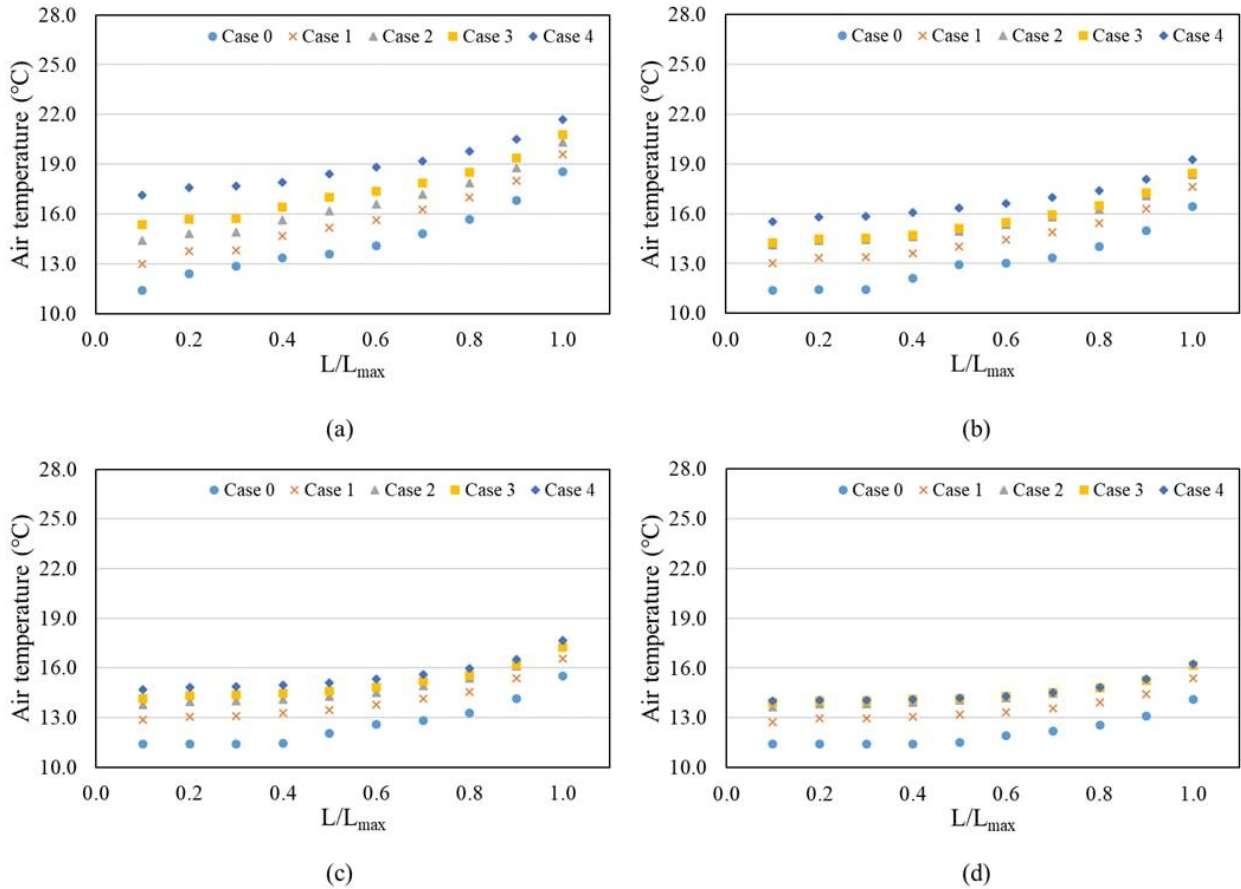


그림 3-5-14 전실 공간 체적에 따른 입기덕트 내부의 공기온도 분포 (a) 25 CMM (b) 35 CMM (c) 50CMM (d) 70 CMM (L: 온도 측정 지점, L_{max} : 덕트의 전체 길이)

○ 대상 비육돈사에 환경 개선안에 대한 현장 실증

장기간 비육돈사 내외부의 모니터링을 통하여 실험 비육돈사 내부에서 발생하는 문제점을 파악하였다. 대상 실험 비육돈사의 경우에는 산지에 위치하고 있기 때문에 환절기 및 동절기에 외기 온도가 낮게 형성되며 동시에 농장주의 경험적인 사육에 근거하여 농촌진흥청 축산과학원에서는 21°C를 권장함에도 불구하고 배기팬의 가동 설정온도를 25°C로 설정함에 따라 원활하지 못한 환기를 나타내고 있었다. 즉, 대상 비육돈사의 경우에는 돈사 내외부의 온도 차이가 크게 발생하고 있으며, 외부의 낮은 공기온도로 인하여 충분한 환기를 수행하지 못한다는 문제를 겪고 있었다. CFD 시뮬레이션을 통하여 기존에 비육돈사에서 발생하는 문제점에 대하여 다양한 개선책을 분석하고자 하였으며, 그 중 가장 효과적인 것으로 판단된 개선안에 대하여 현장 적용 및 검증을 수행하고자 하였다.

가장 큰 효과를 나타낸 개선안의 경우에는 비육돈사 외부에 전실을 설치하여 돈사 내부로 유입되는 공기의 온도를 최대한 상승시키는 방법이다. 따라서 2017.12.07.~2017.12.08. 하동 바른양돈 내 비육돈사에 전실을 설치하여 실증을 수행하였으며, 그림 3-5-15는 대상 비육돈사 내·외부의 모습이고, 그림 3-5-16과 그림 3-5-17은 비육돈사 외부에 전실을 설치하는 과정 및 실험 과정에 대하여 나타낸다.



그림 3-5-15 실험 돈사의 내·외부 측사 현황 및 입·배기 구조



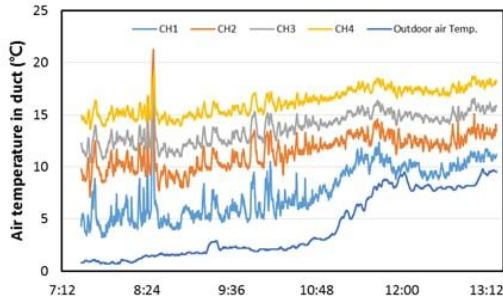
그림 3-5-16 실험 비육돈사 외부에 전실 설치



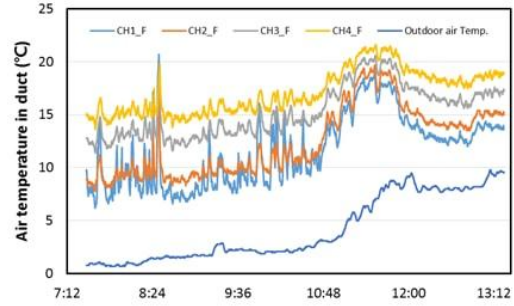
그림 3-5-17 덕트 내부 공기온도와 덕트 표면 온도 모니터링을 위한 실험 장치 설치 및 측정

전실이 없는 조건과 비교하여 전실이 설치할 시에는 15%의 온도 개선 효과를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 일반적으로 일출직후로는 일사의 영향으로 인하여 유입되는 비육돈사 외부 공기온도가 증가하기 때문에 각 측정 지점에서의 온도가 점차적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 해당 실험 기간의 경우에는 동절기이기 때문에 일사 및 유입공기의 증가로 인한 내부 환기량의 증가로 인하여 12시 무렵에는 다소 온도가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 전실이 없는 모델과 비교하여 지역적으로 온도 차이가 상이하기는 하지만 덕트의 초입 부분의 경우에는 약 4°C 온도가 높은 것을 확인할 수 있다. 전실이 없는 조건에서는 상대적으로 낮은 공기온도가 유입됨에 따라 덕트의 길이방향으로 갈수록 온도의 상승이 큰 것을 확인 할 수 있다. 특히, 일출 직전에는 전실 유무에 따른 효과가 다소 적게 형성되는 것을 확인 할 수 있으나, 일출 직후의 경우에는 일사와, 주변 공기온도의 상승으로 인하여 덕트 내부의 공기 온도 상승이 전실이 없는 모델과 비교하여 가파르게 증가하는 것을 확인 할 수 있으며, 온도 조절을 위하여 내부의 환기량이 증가하는 12시 경에는 온도의 변동성은 증가하였다 (표 3-5-7). 그러나 상대적으로 높은 온도를 갖는 공기가 전실이 있는 조건에서는 유입되기 때문에 덕트의 길이방향으로 갈수록 온도의 상승 폭은 적은 것으로 나타났다 (그림 3-5-18).

전실이 없을 경우 덕트 전체 평균 온도는 12.3°C이고, 덕트 초입부분으로 유입되는 공기의 온도는 7.6°C이다. 덕트 길이방향으로 갈수록 각각 11.5°C (4.5m 지점), 13.7 (9m 지점), 16.3 (13m 지점)으로 나타났다. 이는 덕트 내 기류의 방향이 일정하기 때문에 덕트의 길이방향으로 진행될 수록 내부 공기와의 열교환을 통하여 온도가 상승한 것으로 판단된다. 동일하게 덕트 내부의 온도의 변동성은 공기가 유입되는 덕트의 초입부분에서 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있으며, 길이방향으로 진행할 수록 감소하였다. 전실이 있을 경우 덕트 전체 평균 온도는 14.1°C이고, 덕트 초입부분으로 유입되는 공기의 평균온도는 11.6°C이다. 덕트 길이방향으로 갈수록 각각 12.4°C (4.5m 지점), 15.3°C (9m 지점), 17.3°C (13m 지점)으로 나타났다.



[비육돈사 외부의 전실 미설계 조건]



[비육돈사 외부의 전실 설계 조건]

** CH1~4 : 전실 미설계 조건, CH1~4_F : 전실 설계 조건

그림 3-5-18 비육돈사 외부 전실 설치 유무에 따른 덕트 내부 공기온도 모니터링

표 3-5-7 전실 설치 유무에 따른 입기덕트 내부 위치별 평균 온도 및 표준편차 (단위: °C)

조건		S/S _{max} (0.04)	S/S _{max} (0.33)	S/S _{max} (0.66)	S/S _{max} (0.96)	External air Temp.
전실 미설계	Avg.	7.6	11.5	13.7	16.3	4.2
	Std.	2.5	1.6	1.4	1.2	3.1
전실 설계	Avg.	11.6	12.4	15.3	17.1	4.2
	Std.	3.2	3.2	2.4	2.0	3.1

덕트 끝단으로 갈수록 온도 차이가 평균적으로 감소하는 경향이 나타났으며, 전실이 있을 조건에서는 덕트의 초입부분에서 4°C 높게 형성되는 것을 확인 할 수 있다. 전실이 있을 경우에는 덕트 초입부분을 제외하고 1°C 정도 높은 온도 분포가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 다시 말해, 덕트의 초입부분에서 전실 유무에 따른 온도 효과를 분석한 결과에 따르면 평균적으로 전실이 없을 경우 7.6°C이었으나 전실을 설계할 시에는 11.6°C로 4°C의 온도 개선 효과를 확인 할 수 있으며, 유입되는 최소의 온도가 3.2°C임에도 불구하고 전실을 설계할 경우에는 최소 공기온도가 6.2°C임을 확인 할 수 있다. 덕트의 중, 후반의 지점에서는 전실의 효과는 4.5m 지점에서 12.4°C였으며, 전실을 설계하지 않을 시 보다 0.9°C 온도가 높게 형성되었다. 또한 9m 지점에서는 전실을 설계하지 않았을 시 13.7°C에서 전실을 설계함에 따라 15.3°C로 1.6°C의 효과가 있었으며, 끝단인 13m 지점에서는 전실의 설치 유무에 따라 각각 17.1°C와 16.3°C로 0.8°C의 온도차이가 발생하는 것을 확인 할 수 있다 (표 3-5-7). 일출 직전의 전실 설치 유무에 따른 효과가 미미하고 일출 직후의 효과가 나타나는 것으로 보아 돈사 외부 공기온도 및 일사 조건에 따라 차이가 발생하는 것으로 판단되었다. 일출직후라도 덕트 후반(끝단)으로 갈수록 덕트 내부에서의 열교환이 많이 발생하기 때문에 전실의 설치에 따른 효과 (온도 차이)가 적어지는 것을 확인 할 수 있다 (그림 3-5-19).

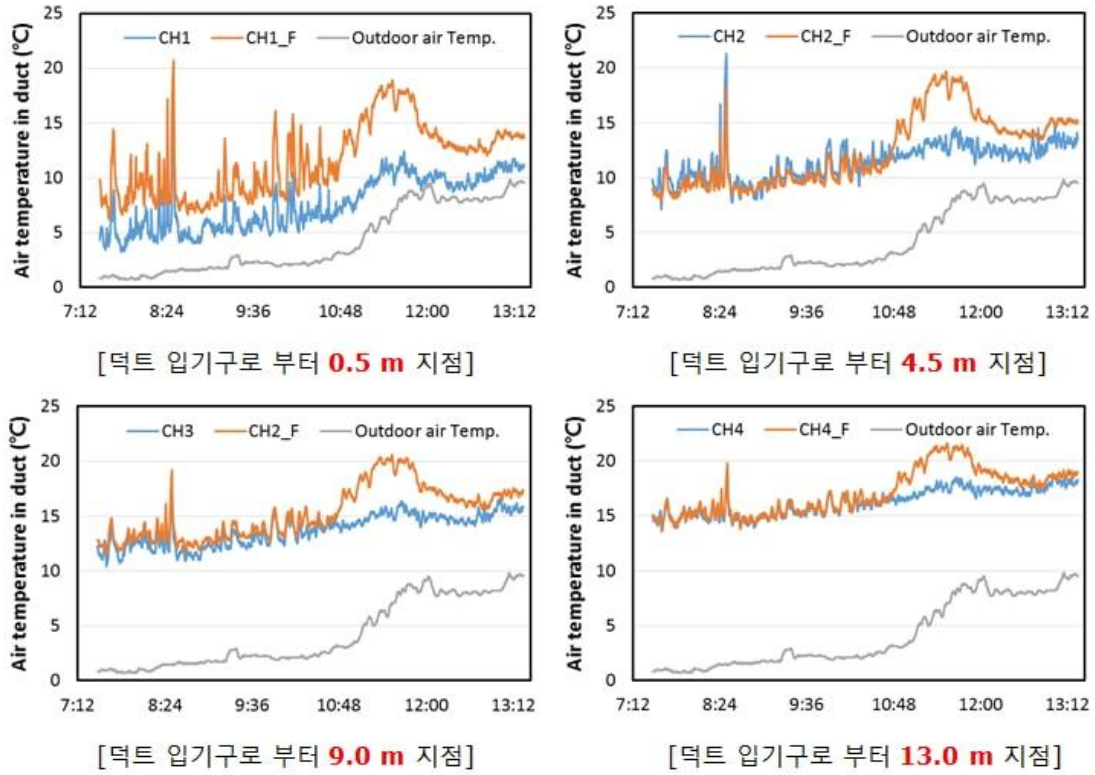


그림 3-5-19 입기덕트 내부 위치별 비육돈사 외부 전실 설치 유무에 따른 효과 분석

다음은 열화상 카메라를 이용한 덕트 입기구로부터 0.5m 지점에서의 시간에 따른 덕트 표면 온도이다. 일 시간변화에 따라 덕트 표면 온도가 다르지만 공기의 유입이 처음 이루어지는 덕트 초입 부분에서의 덕트 표면 온도 차이는 전실의 설치 유무에 따라서 온도가 앞선 열전대를 이용하여 측정된 온도 분포 결과와 유사하게 약 3°C 정도 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다 (그림 3-5-20).

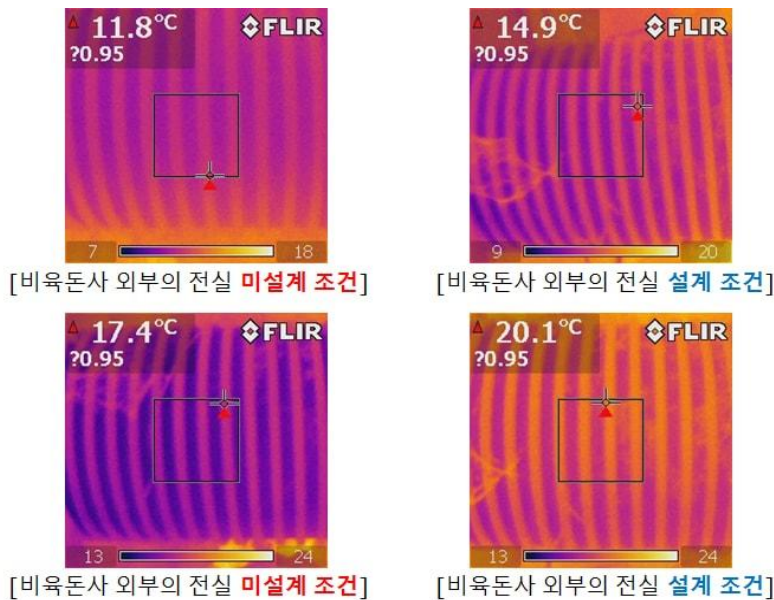


그림 3-5-20 전실 설치 유무에 따른 대상 덕트의 표면 온도 측정

3.6.1 육계사 내 다점 센서 위치 선정

그림 3-6-1과 3-6-2는 대상 육계사 (자연환기식과 강제환기식 계사)에 대한 공기온도 측정 데이터이다. 일교차가 크게 발생하는 환절기를 대상으로 하였고, 축산시설 내부에서 적용되는 설정온도가 차이가 있기 때문에 주령이 증가함에 따라 돈사 내부의 공기온도는 감소하는 것으로 나타났다. 육계사 내부에서 측정된 온도 데이터를 기반으로 배기팬이 가동되는 on/off 주기가 달라지는 강제환기식 육계사와 달리 자연환기식 육계사의 경우에는 윈치커튼을 통하여 환기를 실시하고 단열성능이 상대적으로 강제환기식 육계사와 비교하여 낮기 때문에 상대적으로 온도 편차가 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

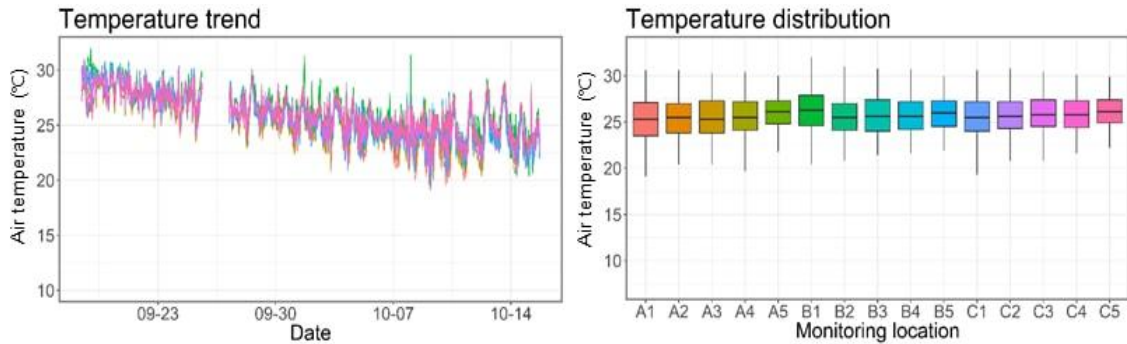


그림 3-6-1 강제환기식 육계사 내부에서의 각 센서 위치별 시간 변화에 따른 온도 분포

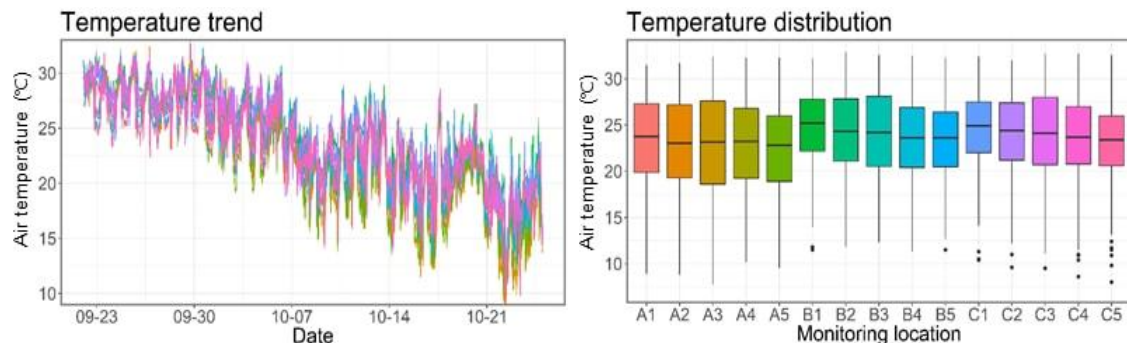


그림 3-6-2 자연환기식 육계사 내부에서의 각 센서 위치별 시간 변화에 따른 온도 분포

그림 3-6-3는 육계사 내부에 균일하게 설치된 다점 온도 센서에서 측정된 평균값이고 육계 사육시설의 중앙부에 측정된 온도값을 비교하였다. 일반적으로 축산시설 건설자, 설계자 또는 농장주는 축산시설의 중앙부가 전체 축산시설을 대표하는 지점으로 생각을 하여 온도 및 환경 제어를 위한 센서를 중앙부에 설치한다. 그러나 그림 3-6-3과 같이 중앙부에 설치된 온도 센서의 측정값은 육계사 전체에 설치된 온도 센서들의 평균값과 크게 차이가 발생하는 것을 나타내며 시설 내부의 온도 변화에 대한 경향 또한 일치하지 않는 것을 알 수 있다.

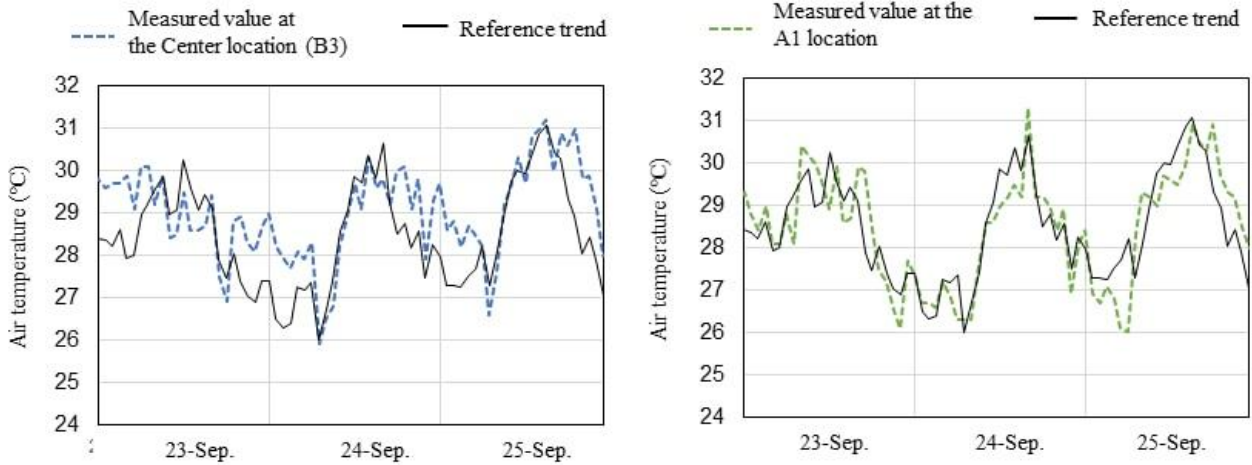


그림 3-6-3 육계사 내 중앙부에서의 온도 측정값과 전체 평균값의 비교

(a) 육계사 내 중앙부 측정 온도값 (b) 육계사 내부 전체 평균을 대표하는 지점에서 측정한 온도값

다음 그림 3-6-4는 오차기반방법을 통하여 육계사 내부의 전체 온도 센서의 평균값을 잘 모사하는 센서를 선정할 결과를 나타낸다. 농장주가 농가 경영을 고려하여 설치하고자하는 센서 대수별 설치위치를 표현하였으며, 단 하나의 센서를 선정할 경우에는 C2의 위치가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 또한 두 개의 센서를 설치할 경우에는 B2와 C4의 지점이 센서를 설치하기에 적합한 지점으로 판단되었다. 또한 자연환기식 육계사의 경우에는 외부의 풍환경에 영향을 많이 받기 때문에 강제환기식 육계사와 다른 지점에서의 최적 센서 위치가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 동시에 강제환기식 육계사의 경우에는 일반적으로 터널배기팬을 이용하는 빈도가 높기 때문에 센서대수별 선정된 설치 지점은 대칭적인 환경을 나타내는 것으로 판단되었다. 그림 3-6-5와 같이 선정된 각 센서의 대수별 센서 설치 위치에서의 측정값과 육계사 전체 측정 데이터의 평균값과의 비교에서 매우 유사함을 확인할 수 있다.

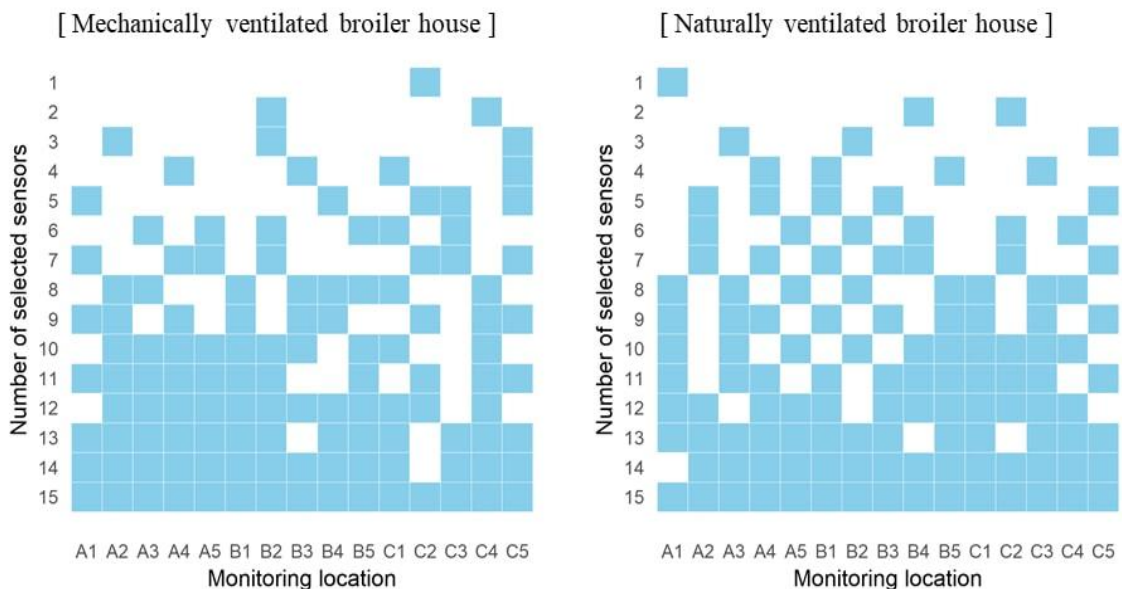


그림 3-6-4 강제환기식 및 자연환기식 육계사 내부의 센서 대수별 최적 센서 설치 위치

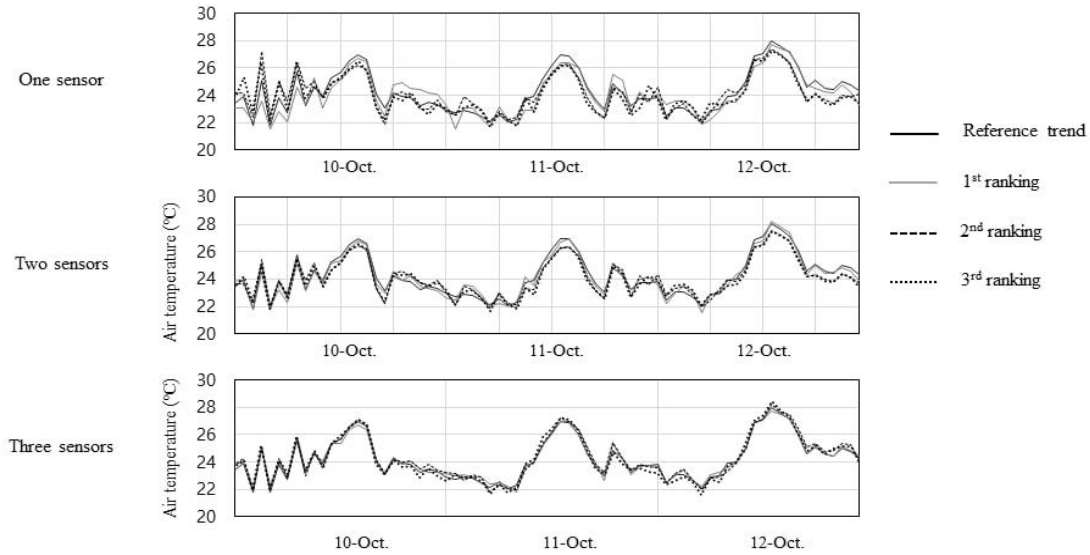


그림 3-6-5 각 센서 대수별 선정된 위치에서의 육계사 전체 평균값과의 비교

또한 육계사 내부에는 육계의 행동 습성 및 환기 운영 등에 따라 국지적으로 비정상적인 상태 (갑작스러운 환경 변화)가 발생한다. 이러한 경우를 대비하기 위해서는 환경 변화를 감지할 수 있는 센서의 위치를 선정하는 것이 중요하다. 이를 위하여 정보엔트로피 방법을 적용하여 육계사 내부의 센서 위치 결정을 하고자 하였다. 각 센서와 센서 조합에 따른 정보 엔트로피를 평가하여 갑작스러운 환경 변화가 나타나는 지점을 선정하고자 하였으며, 높은 정보엔트로피 값을 지니는 지점의 경우에는 환경에 대한 변동성이 다른 지점과 비교하여 크기 때문에 앞서 언급한 것과 같이 갑작스러운 환경을 감지하기 쉽다. A2 지점의 센서의 경우에는 압력이 상대적으로 크게 발생하는 터널배기팬 주변의 입기슬롯과 달리 출입구 근처에는 압력이 상대적으로 낮게 형성되기 때문에 A2와 같이 출입구 주변에서의 정보엔트로피값이 크게 발생하였다. 입기슬롯을 통하여 유입되는 외기의 차가운 공기가 터널배기팬 주변에서는 제트 기류에 의하여 상층부의 공기와 열교환이 상대적으로 많이 이루어지고 육계에 도달하는 반면에 출입구 주변에서는 충분한 제트 기류가 형성되지 못하고 입기슬롯으로부터 차가운 공기가 곧장 육계에 도달하면서 상대적으로 큰 변동이 발생하기 때문으로 판단된다. 자연환기식 육계사의 경우에는 단열 성능이 취약한 윈치커튼으로부터 유입되는 차가운 공기의 영향으로 인하여 중앙부보다는 윈치커튼이 위치하고 있는 양쪽 측벽에서 상대적으로 높은 정보엔트로피값이 나타났다. 그림 3-6-6은 선정된 센서 위치에서 육계사 내 설치된 센서들의 전체 평균값과 얼마나 차이가 발생하는지 보여주고 있다. 그림 3-6-6과 같이 각 환기방식에 따른 육계사 내부에서 선정된 센서에서 전체 평균값과 매우 유사한 값을 나타냈다.

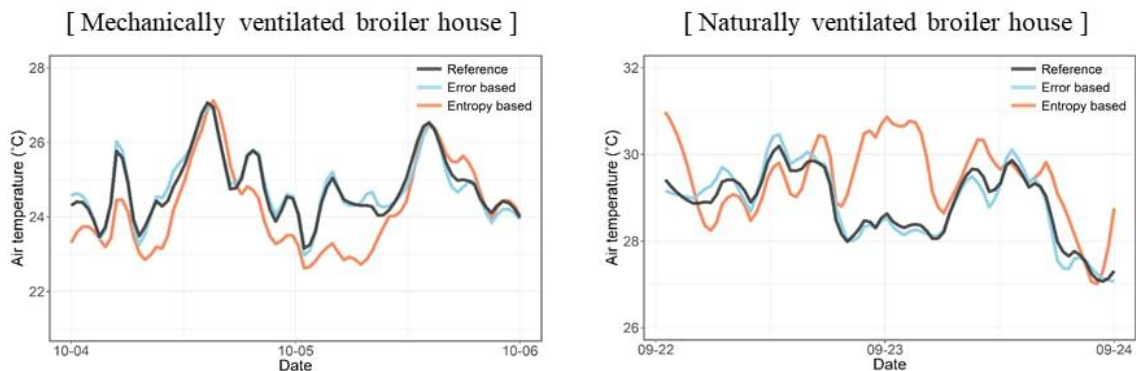


그림 3-6-6 육계사 내 설치된 전체 센서의 평균값과 오차기반방법 및 엔트로피기반 방법을 적용하였을 때 결정된 센서 위치에서의 시계열 온도 변화

3.6.2 비육돈사 내 다점 센서 위치 선정

다음 그림 3-6-7는 흥성 농장 내 위치한 비육돈사 내외부의 시계열 온도 변화 그래프 (2017.11.15. ~2017.12.15.)이다. 실험기간 동안 돈사 내부에서의 평균 공기온도 23.3°C를 나타냈으며, 외부의 공기 온도는 12.9°C를 나타냈다. 외부의 공기온도에 따라서 내부의 공기온도가 매우 유사하게 변동되는 것을 확인 할 수 있었다. 돈사 내외부의 공기온도차와 지속적으로 이루어지는 환기로 인하여 평균 공기온도 변동은 4.1°C를 나타냈으며, 최대 17.1°C로 나타났다. 그림 3-6-7와 같이 비교적 돈사 내부에서의 공기온도편차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

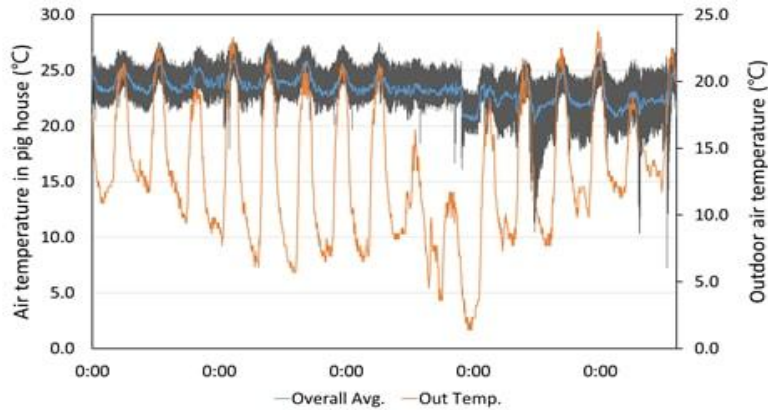


그림 3-6-7 돈사 내외부의 시계열 온도 변화 추이 (2017.11.15. ~ 2017.12.15.)

현재 국내외의 대다수의 축산농가의 경우에는 최소한의 센서를 통하여 돈사 전체의 공간에 대한 환경 조절을 실시하고 있다. 이러한 이유에는 돈사 내부에 설치되는 센서가 고가이며, 유지관리비가 많이 소요된다는 점에서 농장주는 최소한의 센서를 선택하게 된다. 그러나 그림 3-6-8과 같이 일반적으로 돈사 중앙에 하나의 센서가 설치되는 경우에는 돈사 전체의 온도 환경과 온도편차가 발생한다. 대상 돈사 시설의 경우에는 평균적으로 돈사 전체 공기온도와 중앙부에서 측정된 온도 데이터의 차가 1.5°C 발생하였으며, 최대 2.5°C까지 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 이러한 결과로부터 현재 일반적으로, 축산시설 시공 설계 관계자 및 농장주의 의견에 따라 중앙부에 설치되는 센서가 전체 축산시설을 대표하지 못한다는 것을 의미한다. 그러므로, 항온성 동물로써 돼지의 생산성이 온도에 민감하게 반응한다는 점을 고려할 때, 센서 위치 선정에 대한 제고가 필요할 것으로 판단되었다.

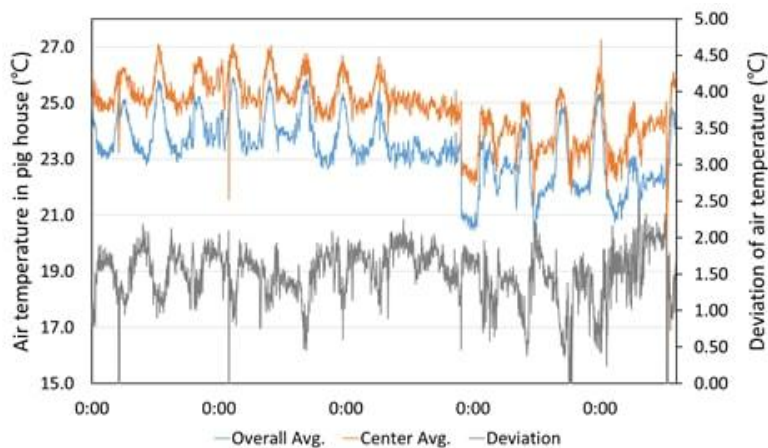


그림 3-6-8 돈사 내 설치된 전체 센서 평균값과 중앙부 센서에서 측정된 값의 비교 (2017.11.15.~2017.12.15.)

오차기반 방법을 통하여 결정된 돈사 내부에서의 온도 센서 대수별 설치위치는 그림 3-6-9와 같다. 온도 센서 하나를 설치할 때는 HS-8 또는 HS-11 (중앙부)가 아니라 HS-2 지점에 설치하는 것이 돈사 전체를 대표할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 2대를 설치할 경우에는 HS-6과 HS-13번에 설치되는 것이 돈사 전체를 대표할 수 있는 것으로 나타났으며, 그 외 센서의 대수별 설치 위치는 그림 3-6-9와 같다. 선택된 센서의 경우에는 각 측정 지점에서의 평균 공기온도의 값이 돈사에서 측정된 전체 평균값과 유사하게 나타났으며, 이상치에 대하여 더 낮은 분포를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다. 종합적으로, HS-2, HS-3, HS-16등과 같이 입기구와 배기구의 영향을 직접적으로 받지 않는 지점에서의 센서 위치 선정이 적절한 것으로 판단되었다.

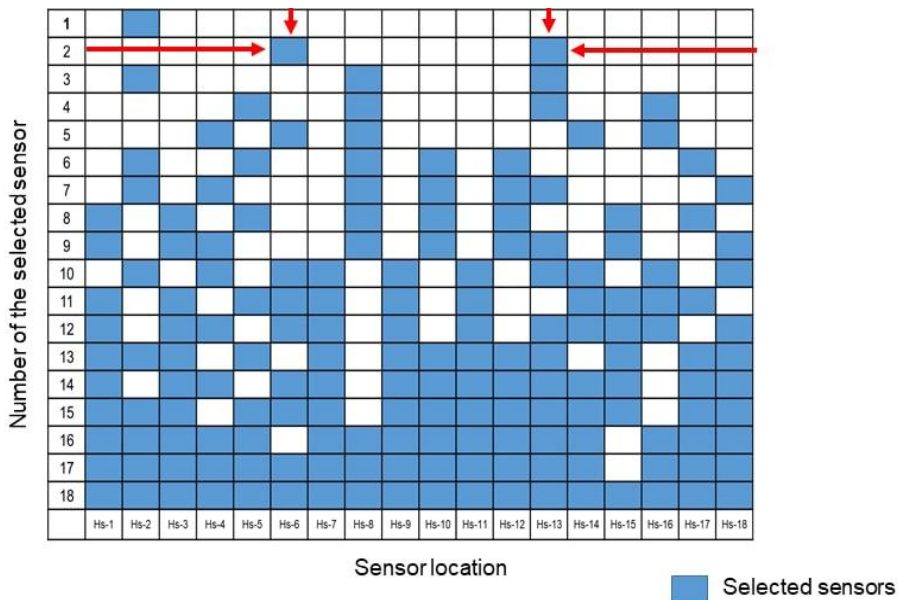


그림 3-6-9 오차기반방법을 이용한 센서 대수별 설치 위치

그림 3-6-10는 선정된 센서 지점 (HS-3과 HS-16)에서의 측정된 온도 데이터 평균과 돈사 내부에 설치된 전체 센서 평균값과의 비교 그래프를 나타낸다. 그림과 같이 선정된 2개 지점의 온도 센서 평균값이 돈사 전체 평균값을 잘 설명하는 것을 확인 할 수 있다 ($R^2=0.99$)

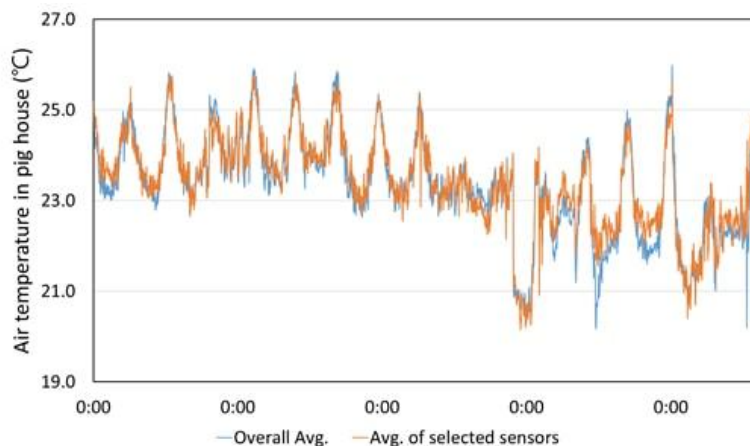


그림 3-6-10 오차기반 방법을 통하여 선정된 센서 2대 지점 평균과 돈사 전체 평균값이 경향 비교

또한 돈사 내부에는 돼지의 행동 습성 및 비정상적인 에너지 소비에 따라 드물게나마 정전 등의 비정상적인 상태 (갑작스러운 환경 변화)가 발생한다. 따라서 이러한 경우를 대비하기 위해서는 환경 변화를 감지할 수 있는 센서의 위치를 선정하는 것이 중요하다. 이를 위하여 정보엔트로피 방법을 적용하여 돈사 내부의 센서 위치 결정을 하고자 하였다 (그림 3-6-11). 각 센서와 센서 조합에 따른 정보 엔트로피를 평가하여 갑작스러운 환경 변화가 나타나는 지점을 선정하고자 하였으며, 높은 정보엔트로피 값을 지니는 지점의 경우에는 환경에 대한 변동성이 다른 지점과 비교하여 크기 때문에 앞서 언급한 것과 같이 갑작스러운 환경을 감지하기 쉽다. HS-11 지점의 센서의 경우에는 양쪽 두 개의 지붕 배기팬 사이에 위치하고 있기 때문에 외기의 차가운 공기가 유입되기 때문에 상대적으로 큰 변동이 발생하기 때문에 판단된다. 그림 3-6-12와 같이 선정된 HS-11이 돈사 내 설치된 센서 전체 평균값과 얼마나 차이가 발생하는지 보여주고 있으며, 해당 결과로부터 돈사 내부에서 설정온도 범위 밖의 온도 환경에 대해서 감지할 수 있는 가장 적합한 지점으로 판단하였다.

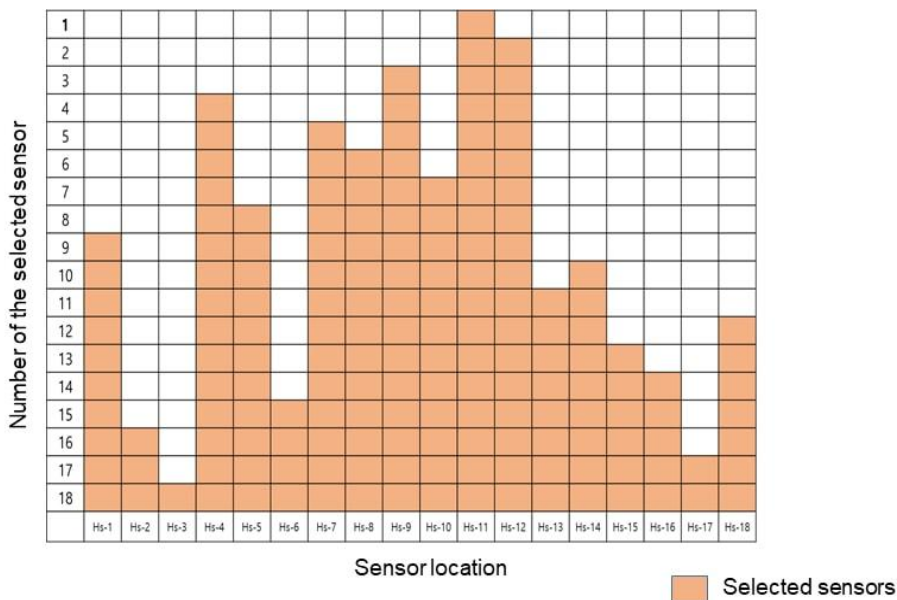


그림 3-6-11 정보엔트로피기반 방법을 적용하여 결정된 갑작스러운 환경 변화 감지를 위한 센서 대수별 설치 위치

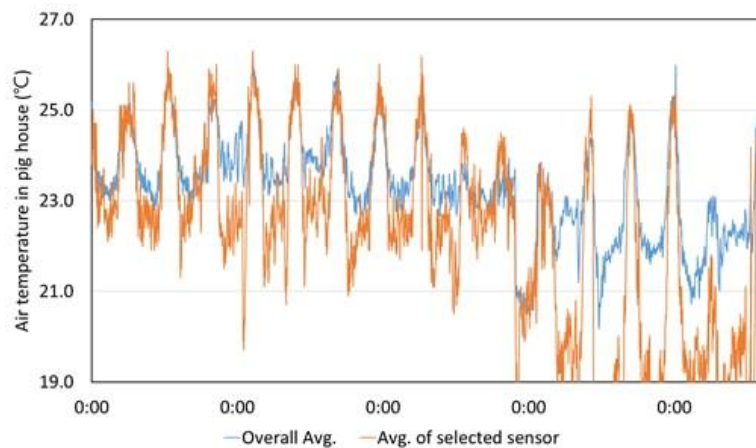


그림 3-6-12 선정된 센서 1개 지점에서의 공기온도 변화와 돈사 내부 전체 평균값과의 비교

3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절 목표 달성도

1. 정성적 목표 달성도

가. 사료 섭취효율조사기(대가축용, 양돈용)

목표 항목	평가의 착안점 및 기준	달성도
1. 기구물 설계 기술	FRP 사료조는 동물용으로 적합한 구조인가?	100%
	청소 및 분해 조립의 용이성은 어떠한가?	100%
	로드셀의 위치 및 결합 방법은 타당한가?	100%
	개체 통제용 게이트의 구조는 합리적인가?	100%
	가축의 손상이 없는 구조로 제작 되었는가?	100%
	다양한 사이즈의 가축의 접근이 용이한가?	100%
	제품의 수명에 대한 조치는 잘 되어있는가?	100%
2. 센서 및 전자 회로기술	개체 인식용 센서의 인식거리는 적절한가?(기본 15 - 20 cm)	100%
	RFID 시스템은 국내 ICT인증 규격에 적절한가?	100%
	개체 인식 적외선 센서의 감지범위는 적절한가?	100%
	로드셀 인디케이터(저울값 측정장치)의 정밀도는 어떠한가? (오차율 1%내외)	100%
	통신은 정상적으로 잘 이루어지는가?	100%
	가축의 안전을 위한 24V 저전압 설계원칙이 지켜지고 있는가?	100%
	서비스 및 교환이 용이한가?	100%
3. 사용자 인터 페이스	사용자를 위한 데이터 서비스의 상태는 안정적인가?	100%
	웹 및 모바일에서의 관리환경은 양호한가?	100%
	사용자층을 고려한 프로그램 서비스가 가능한가?(IT세대,비IT 세대)	100%
4. 만족도 평가	업그레이드는 효율적으로 할 수 있게 설계되었는가?	100%
	현장 농가의 만족도는 어느 정도인가?	100%

나. 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 개발

목표 항목	평가의 착안점 및 기준	달성도
1. 환경모니터링 센서기술	온도센서의 정확도가 양호한가?	100%
	습도센서의 정확도가 양호한가?	100%
	CO2센서의 정확도가 양호한가?	100%
	센서의 설치위치 및 설치 센서의 상용화 정도는 양호한가?	100%
2. 환경모니터링	자료의 수신 주기는 최소 5초 이내인가?	100%
	자료 수신 알고리즘은 합리적인가? (동일한 자료를 연속적으로 수집할 필요는 없으므로 지능적인 수집 알고리즘이 사용되어야 함)	100%
	수신 자료의 정확도는 양호한가?	100%
	수신 자료의 웹데이터 베이스 기록이 가능한가?	100%
	빅데이터 기술로 사용되기 위한 환경자료 기록장치의 구성은 타당한가?	100%
	데이터를 쉽게 확인 가능한가?	100%
	원격 제어가 가능한가?	100%
3. 사용자 인터페이스	사용자를 위한 데이터 서비스의 상태는 안정적인가?	100%
	웹 및 모바일에서의 관리환경은 양호한가?	100%
	사용자층을 고려한 프로그램 서비스가 가능한가? (IT세대,비IT세대)	100%
	업그레이드는 효율적으로 할 수 있게 설계되었는가?	100%
4. 만족도 평가	현장 농가의 만족도는 어느 정도인가?	100%

다. 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발

목표 항목	평가의 착안점 및 기준	달성도
1. 설계기술	오픈소스 기반으로 개발되었는가?	100%
	오픈소스 규칙을 적절하게 지키고 자료 공개를 적절하게 수행하고 있는가?	100%
	다양한 기기와 인터페이스환경은 적절하게 설계되었는가?	100%
	이종기기의 결합에 따를수 있는 문제에 대한 대책으로 절연 및 전원분리, 낙뢰보호 회로는 충실하게 구현되었는가?	100%
	타 기기와의 인터페이스를 위한 사용자매뉴얼은 충실히 작성되었는가?	100%
	통신 프로토콜은 합리적으로 설계되었는가?	100%
	데이터 수집 시간은 합리적인가?	100%
2. 통신방법 및 웹서비스	유선 통신방식은 적절한가?	100%
	무선 통신방식은 적절한가?	100%
	다양한 통신에 대한 대응이 적절한가?	100%
	수신 자료의 웹데이터 베이스 기록이 가능한가?	100%
	빅데이터 기술로 사용되기 위한 환경자료 기록장치의 구성은 타당한가?	100%
	데이터를 쉽게 확인 가능한가?	100%
	원격 제어가 가능한가?	100%
3. 사용자 인터페이스	사용자를 위한 데이터 서비스의 상태는 안정적인가?	100%
	웹 및 모바일에서의 관리환경은 양호한가?	100%
	사용자 층을 고려한 프로그램 서비스가 가능한가? (IT세대,비 IT세대)	100%
	업그레이드는 효율적으로 할수있게 설계되었는가?	100%
4. 만족도 평가	현장 농가의 만족도는 어느정도 인가?	100%

라. 낙농우의 위내 온도 및 pH측정을 위한 경구투여용 바이오캡슐과 통신 모듈, 제어관리 프로그램 고도화 개발

목표 항목	평가의 착안점 및 기준	달성도
1. 농가 적용성	농가의 의견을 100% 반영하여, 농가 설치 시 인터넷 및 전원 공급 여부, 농가의 시설에 큰 영향이 없이 적용이 가능한 수준인지 확인	100%
2. 생체정보 통계 기술	가축의 체온 및 pH 통계가 95% 정확한지에 관한 통계 추출/확인	100%
3. 실시간 검증 기술	실시간 검증 시 95% 이상의 예측 가능 여부 확인	100%
4. 온도 및 pH 정확도	실시간 감지되는 가축의 체온이 100% 정확한지에 관한 통계 추출/확인	100%
5. Battery 수명	배터리 수명이 5년 이상인지 확인	100%
6. 생체적 합성	낙농우에 생체적으로 적합한지 여부를 확인	100%
7. 만족도 평가	농장주 만족도 100% 달성 확인 및 실제 사용 여부 체크	100%

2. 정량적 성과 목표

가. 연구개발 성과 목표

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I						
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	10			10		20	10		10				10	10			20		
최종목표	4			3		3	100		3			1	3		2	4		6	
1차년도	목표																		실적
2차년도	목표	2							1			1		2				3	실적
3차년도	목표	2			3	3	100		2			1	2	2	2			3	실적
소계	목표	4			3	3	100		3			1	3	2	4			6	실적
1차년도	종료		2				200		1			1							
2차년도	종료		2				400		1										
3차년도	종료						600		2										
4차년도	종료						1,000												
5차년도	종료						1,500												
합계		4	4		3	3	3,700		4			1	3	2	4			6	

나. 연구개발 성과

(1) 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/ 비SCI)	게재일	등록번호
1	Real-time Temperature Monitoring to Enhance Estrus Detection in Cattle Utilizing Ingestible Bio-Sensors:Method&Case Studies	한국정보기술학회 논문지	김희진	15 (11)	국내	한국정보기술학회	비SCI	2017-11-30	-
2	Monitoring Cattle Disease with Ingestible Bio-Sensors Utilizing LoRaWAN: Method and Case Studies	한국정보기술학회 논문지	김희진	16 (4)	국내	한국정보기술학회	비SCI	2018-04-30	-
3	AI Analysis Method Utilizing Ingestible Bio-Sensors for Bovine Calving Predictions	한국정보기술학회 논문지	김희진	16 (12)	국내	한국정보기술학회	비SCI	2018-12-31	-
4	IoT 기반의 실시간 가축 건강 및 변식 관리를 위한 모바일 어플리케이션 개발	소프트웨어공학소사이터티 논문지	김희진	27 (1)	국내	소프트웨어공학소사이터티	비SCI	2018-09-01	-
5	Ventilation rate formula for mechanically ventilated broiler houses considering aerodynamics and ventilation operating conditions	Biosystems engineering	박관용	175	국외	Biosystems engineering	SCI	2018-09-06	-

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	8th European Conference on Precision Livestock Farming (EC-PLF)	박관용	2017-09-13	Nantes	프랑스
2	한국농공학회	여욱현 (우수논문발표상)	2017-10-16	제주도	대한민국
3	한국농공학회	박관용	2017-10-16	제주도	대한민국
4	한국농업기계학회	박관용	2017-10-27	광주	대한민국
5	International Livestock Environment Symposium	이상연	2018-09-25	Nebraska	미국
6	2018 한국축산환경학회 추계 심포지엄 및 학술발표회	여욱현	2018-09-13	세종	대한민국

(3) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			기여율
			출원인	출원일	출원번호	
1	선별부를 구비한 축산용저울	대한민국	(주)다운	17.09.29	10-2017-0126955	100%
2	대가축용 사료섭취량 조사장치	대한민국	(주)다운	17.10.25	10-2017-0139267	100%
3	자동급여기용 게이트 프레임	대한민국	(주)다운	18.07.03	10-2018- 0076952	100%
4	분말 정량공급장치	대한민국	(주)다운	18.08.22	10-2018- 0097915	100%

(4) 기술거래(이전) 등

No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	직접실시(특허 출원)	대가축용 사료섭취량 조사장치	(주)다운	2018-11-29	7,238,000	7,238,000
2	직접실시(특허 출원)	선별부를 구비한 축산용 저울	(주)다운	2018-11-29	7,238,000	7,238,000
3	직접실시(특허 출원)	자동급여기용 게이트 프레임	(주)다운	2018-11-29	7,238,000	7,238,000
4	직접실시(노하 우)	환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 기술	(주)이지팜	2018-12-11	7,420,000	7,420,000

(5) 사업화 현황

(단위 : 명, 년)

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	기술이전 자기실시	기술이전 기존업체 상품화	국내	대가축용 사료섭취량 조사장치 외	*별도	(주)다운	178,160,000		2018	

*별도 자료: 대가축용 사료섭취량 조사장치, 선별부를 구비한 축산용 저울, 자동급여기용 게이트 프레임 위 3건 기술실시에 따른 사료자동급이기 제품화 실적 및 매출 발생

구분	제품명	제품사진	제품출시일	매출액 (백만원)	해당기술의 매출액 기여율 (%)

1	사료자동급이기		2018.11.26.	국내	41.91	100
				해외	-	
2	사료자동급이기		2018.12.13.	국내	105.25	100
				해외	-	
3	사료자동급이기		2018.12.21.	국내	20	100
				해외	-	
4	사료자동급이기_한우ICT사업		2018.12.26.	국내	11	100
				해외	-	

(6) 고용 창출

No	고용인력	고용기관명	고용창출일	고용형태	고용 창출 내용
1	강 ○ ○	(주)다운	2018-05-28	정규직	프레임 및 내부 기관 제조, 유지보수
2	김 ○ ○	"	2017-10-30	"	시스템기획 및 연구관리인력 고용
3	김 ○ ○	"	2018-04-02	"	메인보드 설계, 제조, 시스템 개발
4	문 ○ ○	"	2018-04-16	"	프레임 및 내부 기관 제조, 유지보수
5	성 ○ ○	"	2017-11-01	"	시스템기획 및 회계관리인력 고용
6	송 ○ ○	"	2018-09-12	"	메인보드 설계, 제조, 시스템 개발
7	오 ○ ○	"	2017-02-20	"	시스템설계 및 기기제조인력 고용
8	오 ○ ○	"	2018-05-08	"	홍보 및 판매, 영업 상담 및 마케팅
9	윤 ○ ○	"	2017-05-01	"	시스템설계 및 기기제조인력 고용
10	허 ○ ○	"	2018-05-14	"	메인보드 설계, 제조, 시스템 개발

(7) 교육 및 컨설팅

No	교육 및 컨설팅명	교육 및 컨설팅 교재명	주요내용	활용년도
1	2017년 수준별 스마트팜 전문교육	2017년 수준별 스마트팜 전문교육	축산농가들이 스마트팜에 대하여 쉽게 이해할 수 있고 필요한 ICT 장치들과 정부의 스마트팜 확산사업에 대한 내용을 소개하고 더불어 도입효과를 알기 쉽게 알려줌으로서 축산 스마트팜에 대한 이해를 돕고자 함.	2017
2	2017년 천안시 스마트 팜 현장지원센터 위탁교육 운영	천안시 스마트 팜 현장지원센터 위탁교육	한우농장의 ICT 융복합 스마트 팜 활용장비 제시	2017
3	<IoT 융합산업 표준> IoT 기반 스마트팜 세션 - 스마트 축사 관리 기술	스마트 축사 관리 기술	<IoT 융합산업 표준> IoT 기반 스마트팜 세션 - 스마트 축사 관리 기술 ▲축산 자동화 기자재, ICT 기술 현황 ▲국내 축산시장에서 활용되는 수입/국산 ICT 기자재 비교 및 고찰 ▲향후 도입될 축산 ICT 기자재, 신기술 소개	2018
4	호남권 농촌현장 창업보육업체 “Networking Party” 집담회 및 글로벌 서포터즈	호남권 농촌현장 창업보육업체 “Networking Party” 집담회	현직 전문가 및 선배기업의 강의 및 경험담을 통한 국내 시장개척 전략 ▲국내 축산 자동화 기자재, ICT 기술 현황 ▲국내 축산시장에서 활용되는 수입/국산 ICT 기자재 비교 및 고찰 ▲향후 국내 도입될 축산 ICT 기자재, 신기술 소개	2018

(8) 홍보실적

No	유형	매체명(행사명)	제목, 품목	일시/장소	활용년도
1	중앙신문지	축산신문사	<2017년 신년특집>신기술 현장을 찾아- (주)다운 ‘ICT 축산관리 시스템’	2017.01.06	2017
2	박람회	뉴질랜드 필데이스 농업박람회	ICT축산기자재(송아지로봇포유기, TMR급이로봇외)	2017.06.14. ~ 2017.06.17 뉴질랜드	2017
3	박람회	제3회 전북귀농귀촌박람회	TMR급이로봇 및 사료자동급이기 외	2017.06.16. ~ 2017.06.18 양재 aT센터	2017
4	전시회	2017 로보유니버스&K 드론	축산기자재(TMR급이로봇 외)	2017.06.28. ~ 2017.06.30 일산킨텍스	2017
5	박람회	농림식품산업일자리 박람회(귀농귀촌관)	ICT축산기자재(급이로봇 외)	2017.08.25. ~ 2017.08.27 양재 aT센터	2017
6	박람회	한국국제축산박람회	축산기자재	2017.09.21. ~ 2017.09.24 대구EXCO	2017

7	전시회	한국홀스타인품평회	ICT축산기자재(급이로봇 외)	2017.10.18. ~ 2017.10.19 안성팜랜드	2017
8	지방T V방송	전주MBC	생방송 VIEW “4차 산업시대! 농업의 미래를 말하다”	2018-01-09	2018
9	중앙전 문지	한국농기계신문	ICT기반 무인 급이시스템 개발에 구슬땀	2018-06-15	2018
10	지방T V방송	연합뉴스TV	진화하는 스마트팜 시설채소에서 축산으로	2018-09-27	2018
11	중앙전 문지	한국경제매거진	커버스토리 : 농촌에서 꽃피는 ‘혁신 DNA’ 한국의 스마트 파머들-스마트 파머④	2018-10-17	2018
12	박람회	2018 ILDEX	사료섭취량조사기 외	2018-03-13 ~ 2018-03-16 베트남	2018
13	박람회	2018 Fieldays	사료섭취량조사기 외	2018-06-13 ~ 2018-06-16 뉴질랜드	2018
14	박람회	한국축산기자재박람 회	사료섭취량조사기 외	2018-09-12 ~ 2018-09-14 세종컨벤션센터	2018

2절 연구결과의 활용 계획

1. 생산 계획

가. 주관연구기관(다운)

(1) 사료효율조사기 시스템(대가축)

구분		(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	15	25	35
	판매량(단위: 대)	100	150	250
	판매단가(원)	5,500,000	5,000,000	4,500,000
	국내매출액(백만원)	550	750	1,125

(2) 사료효율조사기 시스템(양돈)

구분		(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년
국내	시장점유율(%)	10	20	30
	판매량(단위: 대)	50	100	200
	판매단가(원)	5,000,000	4,500,000	4,000,000
	국내매출액(백만원)	250	450	800

(3) 체중자동측정 시스템(대가축)

구분		(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2020 년) 개발 종료 후 2년	(2019년) 개발 종료 후 1년
국내	시장점유율(%)	15	25	35
	판매량(단위: 대)	50	100	200
	판매단가(원)	15,000,000	13,000,000	11,000,000
	국내매출액(백만원)	750	1,300	2,200

(4) 체중자동측정 시스템(양돈)

구분		(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2020 년) 개발 종료 후 2년	(2019년) 개발 종료 후 1년
국내	시장점유율(%)	10	20	30
	판매량(단위: 대)	50	100	200
	판매단가(원)	13,000,000	12,000,000	10,000,000
	국내매출액(백만원)	650	1,200	2,000

나. 협동연구기관(이지팜)

(1) 환기환 자동 제어 시스템

구분		(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년	
국내	시장점유율(%)	10	20	30	
	판매량(단위:농가)	100	500	1000	
	판매단가 (원/년)	제어통신모 듈	1,000,000	1,000,000	800,000
		센서수집모 듈	1,000,000	1,000,000	700,000
		제어시스템	1,000,000	500,000	500,000
국내매출액(백만원)	300	1,250	2,000		

(2) 다중 데이터 송수신 장치

구분		(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년	
국내	시장점유율(%)	5	15	25	
	판매량(단위:농가)	50	250	500	
	판매단가(원 /년)	통신모듈	200,000	200,000	200,000
		제어모듈	400,000	400,000	400,000
		데이터 서비스	400,000	400,000	400,000
국내매출액(백만원)	500	2,500	5,000		

2. 투자 계획

가. 주관연구기관(다운)

(1) 사료효율조사기 시스템(대가축)

(단위 : 백만원)

항목	(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
매출원가1)	100	100	100
판매관리비2)	20	20	25
자본적지출 합계	120	120	125

(2) 체중 자동측정 시스템(대가축)

(단위 : 백만원)

항목	(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
매출원가1)	100	100	100
판매관리비2)	25	30	35
자본적지출 합계	125	130	135

나. 협동연구기관(이지팜)

(1) 환기환 자동 제어 시스템

(단위 : 백만원)

항목	(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
매출원가1)	100	100	100
판매관리비2)	20 (A/S 및 교육 : 10) (시스템 고도화 : 10)	20 (A/S 및 교육 : 10) (시스템 고도화 : 10)	25 (A/S 및 교육 : 15) (시스템 고도화 : 10)
자본적지출 합계	120	120	125

(2) 다중 데이터 송수신 장치

(단위 : 백만원)

항목	(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
매출원가1)	300	250	200
판매관리비2)	50 (시스템 고도화 : 20) (A/S 및 교육 : 10) (빅데이터 구축 : 20)	50 (시스템 고도화 : 20) (A/S 및 교육 : 10) (빅데이터 구축 : 20)	50 (시스템 고도화 : 20) (A/S 및 교육 : 10) (빅데이터 구축 : 20)
자본적지출 합계	350	300	250

3. 사업화 전략

가. 주관연구기관(다운)

(1) 섭취효율 조사기 시스템

구분	구체적인 내용
형태/규모	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상용화 형태 : <ul style="list-style-type: none"> - 대가축 및 양돈분야에 최적화함으로 전용제품으로 제작 및 보급함 - 전용기구물 및 관련 소프트웨어 일체형으로 제작 공급 - 웹서비스가 가능하도록 하여 웹페이지 및 모바일 앱공급 ○ 수요처 : <ul style="list-style-type: none"> - 전국 대가축농가 및 양돈농가 - 주요 연구기관(대학, 축산연구소, 종축장, 양돈 검정소등) ○ 예상 단가 : <ul style="list-style-type: none"> - 대가축전용 (5,500,000원정) - 양돈 전용 (5,000,000원정) ○ 개발 투입인력 및 기간 : 관련팀 4개월이상
상용화 능력 및 자원보유	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전국 25개소 영업대리점망 확보 ○ 20년동안 축산관련업 지속 ○ 전문 축산개발회사로 업체이미지 관리됨 ○ 전국 2000여농장의 기존제품 거래처 확보되어있음
상용화 계획 및 일정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3년차부터 상용화를 위한 대리점 기술교육 실시 ○ 3년차부터 광고 및 마케팅부서의 영업활동시작

(2) 체중 자동측정 시스템

구분	구체적인 내용
형태/규모	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상용화 형태 : <ul style="list-style-type: none"> - 대가축 및 양돈분야에 최적화함으로 전용제품으로 제작 및 보급함 - 전용기구물 및 관련 소프트웨어 일체형으로 제작 공급 - 웹서비스가 가능하도록 하여 웹페이지 및 모바일 앱공급 ○ 수요처 : <ul style="list-style-type: none"> - 전국 대가축농가 및 양돈농가 - 주요 연구기관(대학, 축산연구소, 종축장, 양돈 검정소등) ○ 예상 단가 : <ul style="list-style-type: none"> - 대가축전용 (15,000,000원정) - 양돈 전용 (13,000,000원정) ○ 개발 투입인력 및 기간 : 관련팀 6개월이상
상용화 능력 및 자원보유	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전국 25개소 영업대리점망 확보 ○ 20년동안 축산관련업 지속 ○ 전문 축산개발회사로 업체이미지 관리됨 ○ 전국 2000여농장의 기존제품 거래처 확보되어있음
상용화 계획 및 일정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3년차부터 상용화를 위한 대리점 기술교육 실시 ○ 3년차부터 광고 및 마케팅부서의 영업활동시작

나. 협동연구기관(이지팜)

(1) 환기환 자동 제어 시스템

구분	구체적인 내용
형태/규모	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상용화 형태 : 환경(온도, 습도 등) 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템(양돈 및 가금용) ○ 수요처 : 양돈 농가 및 가금농가 ○ 예상 단가 : 3,000,000원 ○ 개발 투입인력 및 기간 : 패키징 3개월
상용화 능력 및 자원보유	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경종합센서(온도, 습도, 이산화탄소, 암모니아 등) 농장 설치 경험 보유 ○ ICT 확산사업 참여 및 ICT 통합관제 시스템 개발 경험 보유
상용화 계획 및 일정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2019년 환기환 자동 제어 시스템 상용화

(2) 다중 데이터 송수신 장치

구분	구체적인 내용
형태/규모	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상용화 형태 : 축산 스마트팜 전용 유무선 다중 데이터 송수신 장치 ○ 수요처 : 양돈농가 및 가금농가 ○ 예상 단가 : 1,000,000 ○ 개발 투입인력 및 기간 : 패키징 3개월
상용화 능력 및 자원보유	<ul style="list-style-type: none"> ○ IoT 기반 스마트 축사 통합관리 플랫폼 개발 경험 보유 ○ ICT 확산사업 참여 및 ICT 통합관제 시스템 개발 경험 보유
상용화 계획 및 일정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2019년 다중 데이터 송수신 장치 상용화

붙임. 참고문헌

1. 김웅. (2016). 무창돈사를 위한 컨트롤러 일체형 환기팬 개발. 농업생명과학연구, 50(2), 187-194.
2. 농촌진흥청 (RDA). (2016). 환절기에 중요한 돼지 사양관리 요령 6가지
3. 이준영, 김신호, 이새봄, 최형진, & 정재진. (2014) 스마트 농업 확산을 위한 IoT 기반 개방형 플랫폼의 필요성 및 구축 방안 연구. Journal of Korea Multimedia Society Vol, 17(11), 1313-1324.
4. 주휘동, 엄기복, & 여현. (2006). U-Grid Computing 을 이용한 대규모 U-IT 응용 USN 설계. 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계) 2006, 594-597.
5. 채종윤. (2005). 온실계사 환경 제어 시스템 개발. 석사 학위 논문. 순천대학교 대학원.
6. 최영찬, & 장익훈. (2014). 양돈산업 정보화의 현황과 전망. 한국통신학회지 (정보와통신), 31(5), 67-72.
7. 축산과학원 (NIAS). (2015). 양돈분야 ICT 해외신기술동향
8. 축산과학원 (NIAS). (2015). 농업기술 2015, 11월호 어린 돼지 관리요령
9. 축산과학원 (NIAS). (2016). 이유자돈 육성을 향상을 위한 환기관리
10. Andersen KT. (2002). Friction and contraction by ventilation openings with movable flaps, Proceedings of Roomvent 2002, Copenhagen, Denmark.
11. ANSI/Air Movement and Control Association (AMCA). (1985). ANSI/AMCA Standard 210-1985, Laboratory Methods of Testing Fans for Rating.
12. ANSYS. (2013) ANSYS Fluent Theory Guide, 15317(November), 724-746. [https://doi.org/10.1016/0140-3664\(87\)90311-2](https://doi.org/10.1016/0140-3664(87)90311-2)
13. Arnesano, M., Revel, G. M., & Seri, F. (2016). A tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces. Automation in Construction, 68, 223-234.
14. ASHRAE Fundamentals Handbook: (2001). American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA.
15. Daskalov, P. I., Arvanitis, K. G., Pasgianos, G. D., & Sigrimis, N. A. (2006). Non-linear adaptive temperature and humidity control in animal buildings. Biosystems engineering, 93(1), 1-24.
16. Donham, K. J., Cumro, D., Reynolds, S. J., & Merchant, J. A. (2000). Dose-response relationships between occupational aerosol exposures and cross-shift declines of lung function in poultry workers: recommendations for exposure limits. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 42, 260-269.
17. Esmay, M. L., & Dixon, J. E. (1986). Environmental control for agricultural buildings. Avi.
18. Ford, S. E., & Riskowski, G. L. (2003). Effect of windbreak wall location on ventilation fan performance. Applied engineering in agriculture, 19(3), 343.

19. Gates, R. S., Chao, K., & Sigrimis, N. (2001). Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(1), 61-74.
20. Heiselberg, P., & Sandberg, M. (2006). Evaluation of discharge coefficients for window openings in wind driven natural ventilation. *International Journal of Ventilation*, 5(1), 43-52.
21. Housing, D., & Handbook, E. (1995). MWPS-7.
22. Karava, P., Stathopoulos, T., & Athienitis, A. (2004). Wind driven flow through openings—a review of discharge coefficients. *International Journal of Ventilation*, 3(3), 255-266.
23. KSB-6311 (2016) Testing methods for turbo-fans and blowers.
24. Li, H., Rong, L., & Zhang, G. (2016). Study on convective heat transfer from pig models by CFD in a virtual wind tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 203-210.
25. Liu, G., & Liu, M. (2012). Development of simplified in-situ fan curve measurement method using the manufacturers fan curve. *Building and Environment*, 48, 77-83.
26. Mirzaee-Ghaleh, E., Omid, M., Keyhani, A., & Dalvand, M. J. (2015). Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 187-195.
27. Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Koerkamp, P. G., Uenk, G. H., ... & White, R. P. (1998). A comparison of three balance methods for calculating ventilation rates in livestock buildings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1), 25-37.
28. Pedersen, S., & Sällvik, K. (2002). Heat and moisture production at animal and house levels. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. CIGR. Horsens.
29. Quiniou, N., Dubois, S., & Noblet, J. (2000). Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science*, 63(3), 245-253.
30. Reynolds, S. J., Donham, K. J., Whitten, P., Merchant, J. A., Burmeister, L. F., & Pendorf, W. J. (1996). Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 29(1), 33-40.
31. Seo, I. H., Lee, I. B., Moon, O. K., Hong, S. W., Hwang, H. S., Bitog, J. P., ... & Lee, J. W. (2012). Modelling of internal environmental conditions in a full-scale commercial pig house containing animals. *Biosystems Engineering*, 111(1), 91-106.
32. Shannon, C. E., *The Mathematical Theory of Communication*, 1949, The University of Illinois Press.
33. Shen, X., Zhang, G., & Bjerg, B. (2012). Comparison of different methods for estimating ventilation rates through wind driven ventilated buildings. *Energy and*

Buildings, 54, 297-306.

34. Stinn, J. P., & Xin, H. (2014). Heat and moisture production rates of a modern US swine breeding, gestation, and farrowing facility. *Transactions of the ASABE*, 57(5), 1517-1528.

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술개발																
	(영문) Livestock farms developed smart ICT equipment localization technology																
주관연구기관	주식회사 다운		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 주식회사 다운													
참 여 기 업	주식회사 다운 주식회사 이지팜			(성명) 최 영 경													
총연구개발비 (1,557,000천원)	계	1,557,000천원	총 연 구 기 간	2016.09. ~ 2018.12.(2년 4개월)													
	정부출연 연구개발비	1,167,000천원		총 인 원	111명												
	기업부담금	390,000천원		총 참 여 연 구 원 수	내부인원	111명											
	연구기관부담금				외부인원												
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <p><input type="checkbox"/> 축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술 활용 사료효율측정기 및 환기시스템의 개발 및 이의 통합 조절을 위한 통신모듈과 제어 시스템 구축</p> <p><input type="checkbox"/> 본과제의 기술 개발 목표를 중심으로 다음 핵심 기술 개발을 수행함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사료효율 측정을 위한 양돈/축우용 사료섭취량 측정 및 체중 측정 기술 - 경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 기술 - 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 기술 - 환기팬 자동제어를 위한 환기운영 개선 알고리즘 - 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술 <p><input type="checkbox"/> 정량적 성과</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">End Product</th> <th style="width: 35%;">개발 전</th> <th style="width: 35%;">개발 후</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>대가축용, 양돈용 사료 효율 측정 시스템</td> <td>기존 기술의 완성도 수입제품 대비 60% [디자인, 성능, 사용편의의]</td> <td>수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]</td> </tr> <tr> <td>체중 측정 시스템</td> <td>기존 기술의 완성도 수입제품 대비 70% [디자인, 성능, 사용편의의]</td> <td>수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]</td> </tr> <tr> <td>환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템</td> <td>기존 기술의 완성도 수입제품 대비 50%</td> <td>기존 기술의 완성도 수입제품 대비 최소 90%</td> </tr> </tbody> </table>						End Product	개발 전	개발 후	대가축용, 양돈용 사료 효율 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 60% [디자인, 성능, 사용편의의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]	체중 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 70% [디자인, 성능, 사용편의의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]	환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 50%	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 최소 90%
End Product	개발 전	개발 후															
대가축용, 양돈용 사료 효율 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 60% [디자인, 성능, 사용편의의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]															
체중 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 70% [디자인, 성능, 사용편의의]	수입제품 대비 최소 100% [디자인, 성능, 사용편의의]															
환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 50%	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 최소 90%															

축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치	국내 제품 없음	국내 최초 개발품
경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 시스템	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 70%	기존 기술의 완성도 수입제품 대비 최소 100%

○ 연구내용 및 결과

□ 1년차 : 대동물 사료섭취효율조사기와 위의 상태 모니터링 시스템 개발 및 기존 환기시스템의 효율성 조사 분석

- 1) 대동물 전용 사료섭취효율조사기 개발
- 2) 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발
- 3) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템 설계
- 4) 기존 대상 축사의 환기 문제점 도출 및 테스트 시뮬레이션 모델 설계

□ 2년차 : 양돈용 사료섭취효율조사기와 위의 상태 모니터링 시스템 개발 및 다점 측정 및 차별적 운영을 위한 환기시스템 개선 기술 개발

- 1) 양돈용 사료섭취효율조사기 개발
- 2) 체중 측정 장치 개발
- 3) 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화 개발
- 4) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템 개발
- 5) 공기역학 시뮬레이션 모델 개발 및 기존 대상축사의 환기 개선안 제시
- 6) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발

□ 3년차 : 현장 실증 및 사업화

- 1) 체중측정장치 현장 적용 및 사업화
- 2) 위내 온도 및 pH 측정 시스템 시범농가 테스트베드 구축 및 빅데이터 수집
- 3) 축사 내 적정 환경데이터 모니터링을 위한 다점 측정 지점 도출 및 환기운영 시스템의 차별적 제어 방안 제시
- 4) 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기환 자동 제어 시스템 실증
- 5) 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 사업화

○ 연구성과 활용실적 및 계획

□ 기술개발 연구

- 섭취량 모니터링 및 체중측정 관련 제품 개발 기술 확보
- 최적 사육환경 알고리즘 개발
- 소프트웨어기반의 제어장치 개발
- 차별적 환기환 및 순환팬 제어 시스템 개발
- 축사 구조 및 운영 측면에서의 에너지 부하 절감 기술 개발

□ 시설 및 기기 설계, 제품 사업화

- ICT 기술 테스트 베드의 제품화
- 센서 및 계측 장비의 국산화

- 사육동물에 대한 정확한 사료효율 제공으로 사양관리능력 향상
- 순차적으로 낙농농가 지역별 단위 시범 적용 후, 대학 주도형 컨설팅 시스템을 구축
- 축사 내 환경조절 제어 기준을 위한 자료 활용

□ 축산 질병 대응

- 빅데이터 기반 가축질병 대응 시스템 구축
- 소프트웨어 기반의 안전한 제어장치 개발
- 생체정보 모니터링 기술, 생체정보 변화를 활용한 질병예측 기술 확보
- 섭취량 대비 체중의 변화량의 정밀측정으로 새로운 사료배합비 창출
- 동물용 기기의 설계방식 및 구현 기술에 대한 기준 확보

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	316078-3		
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야	농업생산 시설/환경, S/W 솔루션		과제구분	농식품기술개발사업	
사업명	첨단생산기술개발사업			농식품부 주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술개발		과제유형	개발	
연구기관	(주)다운, (주)이지팜, 이화여자대학교, 서울대학교		연구책임자	최영경	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2016. 09. ~ 2016. 12.	167,000	56,000	223,000
	2차연도	2017. 01. ~ 2017. 12.	500,000	167,000	667,000
	3차연도	2018. 01. ~ 2018. 12.	500,000	167,000	667,000
	계	2016. 09. ~ 2018. 12.	1,167,000	390,000	1,557,000
참여기업	(주)다운, (주)이지팜				
상대국	비해당	상대국연구기관	비해당		

2. 평가일 : 2019. 02. 14.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
주식회사 다운	대표이사	최영경

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	최영경
----	-----

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 아주우수

대가축용, 양돈용 사료섭취량 측정기술 및 자동 체중측정기술, 경구투여용 바이오태그를 활용한 위내온도 및 pH 측정 기술, 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 기술, 축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술의 개발에 성공하여 연구목표의 아주 우수한 달성 및 연구성과물을 도출하였음

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 아주우수

섭취량 모니터링 및 체중측정 관련 기술 확보, 차별적 환기팬 및 순환팬 제어 시스템, 축사 내 환경 모니터링 및 경구투여용 센서 태그 기술 확보를 통하여 축산 농가의 가축 관리, 축사 관리의 편의성을 고취하였음. ICT와 접목한 웹/모바일 소프트웨어 기반의 원격 제어를 가능케 하여 농가의 노동량을 대폭 감소 및 관리의 편의성을 높여 농가 운영 측면에서의 경제적 이익 증대에 아주 우수한 파급효과가 기대됨

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 아주우수

대가축용 사료섭취량 조사장치, 선별부를 구비한 축산용 저울, 자동급여기용 게이트 프레임의 특허출원 및 기술 이전을 통한 산업화 추진하여 매출 창출함. 경구투여용 센서 태그 기술을 이용한 가축의 상태 모니터링 및 질병 예찰이 가능하고, 환경 모니터링 및 환기팬 자동 제어 시스템을 도입하여 스마트팜 농가의 경영 편의성 도모함. 축산 스마트팜 무인화·자동화 시스템 및 관련 산업 분야의 활성화 기대됨

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 아주우수

1차년도(2016) 중 대가축용 사료섭취효율조사기, 위내 온도 및 pH 측정 시스템 고도화, 환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템을 설계함. 2차년도(2017) 중 체중측정장치 개발 완료, 설계에 기반한 환기팬 자동 제어 시스템 및 유·무선 다중 데이터 송수신 장치 개발 완료하였음. 3차년도(2018) 중 연구개발성과의 농가 적용 및 운영을 통하여 데이터 분석 수집, 업그레이드를 수행하였음. 연구추진 계획에 준하여 연구목표 달성이 아주 우수하고 성실하게 진행되었다 사료됨

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 아주우수

대가축용 사료섭취량 조사장치, 선별부를 구비한 축산용 저울, 자동급여기용 게이트 프레임, 분말 정량 공급장치 4건의 특허를 출원하였음. 1건의 SCI 논문을 포함하여 총 5건의 국내·국외 논문 게재, 총 6건의 국내·국외 학술발표를 수행하여 아주 우수한 학술성과를 도출하였음. 국내·국외 박람회 참가 및 언론 매체를 통하여 연구개발성과를 홍보함

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
대가축용, 양돈용 사료섭취효율조사기 개발	20	100	개발 완료
체중 자동측정장치 개발	5	100	개발 완료
시스템 통합 및 웹/모바일서비스 개발	5	100	개발 완료
환기팬 자동 제어 시스템 개발	15	100	개발 완료
유·무선 다중 데이터 송수신 통신 모듈 개발	15	100	개발 완료
낙농용 위내 온도 및 pH 측정장치 고도화 개발	10	100	고도화 개발 완료
빅데이터 수집 및 생체정보 분석 연구	10	100	분석 연구 완료
공기역학시뮬레이션 모델 개발	5	100	개발 완료
기존 대상축사의 환기 개선안 제시	5	100	개선안 제시
축사 내 적정 환경데이터 모니터링을 위한 다점 측정 지점 도출	5	100	측정 지점 도출
환기운영시스템의 차별적 제어방안 제시	5	100	제어 방안 제시
합계	100점	100	연구목표에 따른 연구를 성실히 수행, 완료하였음

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

연구계획 대비 연구가 성실히 수행되었으며 정량적·정성적 연구목표를 충족하는 우수한 성과를 도출하였음. 대가축용, 양돈용 사료섭취효율조사기, 체중 자동측정장치 개발 및 제작 완료하였으며 축우농가 및 양돈농가를 대상으로 시험운동을 수행하여 연구개발 성과물의 완성도를 향상하였음. 낙농용 위내 온도 및 pH 측정장치의 고도화 개발 및 수집된 데이터 분석을 수행하였음. 환기팬 자동 제어 시스템 및 유·무선 다중 데이터 송수신 통신기술 개발을 완료하였고, 공기역학시뮬레이션 모델 개발 및 센서의 다점 측정 지점을 도출하여 연구개발 성과물의 활용도를 향상하였음. 국산 ICT기자재 웹/모바일 기반 서비스 출시를 통하여 연구개발성과물의 이용자 편의성을 극대화하였음

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

본 연구팀은 제안된 개발내용에 대한 성실한 개발업무를 수행하였고, 아울러 현장에서 요구하는 다양한 ICT관련 기술에 대한 연구개발을 병행하여 현장에 설치 및 운영을 하고 있음. 개발된 내용에 대한 매출이 발생하였고, 국내 표준프로토콜 기반 기술을 활용하여 제작한 다양한 스마트팜 솔루션의 현장검증을 완료하였음 일부분야에서 이미 상품화가 이루어 지고 있음. (3.5억원 2016-2018매출발생) 개발된 기술의 상용화를 위한 기초작업을 활발히 수행해 왔고, 앞으로로 꾸준한 업그레이드를 통해 제품의 안정성확보 및 현장만족도를 높이기 위한 노력을 꾸준히 할것임

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

대가축용, 양돈용 사료섭취효율조사기, 체중 자동측정장치 개발 및 ICT 접목을 통한 통합 웹/모바일 기반 서비스를 출시하였음. 환기팬 자동 제어기술로 축사 내 환경관리 자동화 및 낙농용 위내 온도 및 pH 측정장치 개발 및 적용으로 축사 축사 무인화·자동화 기술, 가축 사양관리의 편의성을 도모하였음. 기존 외산기업의 제품에 의존하고 있던 축산 ICT 제품의 국산화 개발을 통하여 보다 국내 축산농가의 실정에 적합하며 가격경쟁력을 갖추었고 A/S 접근성이 우수한 제품으로 향후 축산 농가의 활용성이 우수함. 적극적인 정부 지원정책 추진 및 농가 보급을 통하여 연구개발 성과물 보급을 활성화할 필요가 있음

IV. 보안성 검토

○ 보안과제에 해당하지 않음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

○ 보안과제에 해당하지 않음

2. 연구기관 자체의 검토결과

○ 보안과제에 해당하지 않음

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농업생산 시설/환경, S/W 솔루션	
연구과제명	축산 스마트팜용 ICT 기자재 국산화 기술개발			
주관연구기관	주식회사 다운		주관연구책임자	최 영 경
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	1,167,000	390,000		1,557,000
연구개발기간	2016.09. ~ 2018.12.			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
대가축용, 양돈용 사료섭취효율조사기 개발	대동물 전용 사료섭취효율조사기 개발 및 제작함. 양돈용 사료섭취효율조사기 개발 및 제작함
체중 자동측정장치 개발	자동 체중측정장치 스마트체중계 개발 및 제작함
웹서비스 및 모바일 서비스 프로그램 개발	ICT 기술 접목하여 축사 환경·사양관리용 웹/모바일 기반 제어 및 서비스프로그램 개발 완료함
환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 시스템 개발	내외부 온/습도 데이터를 활용한 환기 자동제어 시스템 개발함
축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 통신 모듈 개발	유·무선 통신이 가능한 스마트팜용 다중 데이터 송수신 통신 모듈 개발을 완료함
낙농용 위내 온도 및 pH 측정장치 고도화 개발	경구 투여하여 소 위내 온도 측정 가능, pH 측정 가능한 낙농용 센서 태그 개발함
빅데이터 수집 및 생체정보 분석 연구	통신모듈 고도화, 통합관리 프로그램 고도화를 통한 빅데이터 수집 및 생체정보 분석 연구 수행함
공기역학 시뮬레이션 모델 개발 및 기존 대상축사의 환기 개선안 제시	공기역학 시뮬레이션 모델 설계 및 검증함. 대상 축산시설에서의 환기 개선안 도출 및 시뮬레이션 평가를 수행함
축사 내 적정 환경데이터 모니터링을 위한 다점 측정 지점 도출 및 환기운영시스템의 차별적 제어 방안 제시	환경데이터 모니터링을 위한 다점 측정 지점 도출, 온도 기반의 환기 제어 시스템 이외 습도, 분진, 가스를 고려한 필요 환기량 산정 및 환기 제어 알고리즘 설계함

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10			10		20	10		10				10	10				20		
최종목표	4			3		3	100		3			1	3	2	4			6		
연기간내 달성실적	4			4		4	178		10			1	4	6	4			14		
달성율(%)	100			100		100	100		100			100	100	100	100			100		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	대가축용, 양돈용 사료섭취효율조사기
②	체중 자동측정기술
③	웹 및 모바일 기반 원격 서비스
④	환기팬 자동 제어기술
⑤	축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화흡수	외국기술 개선개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①대가축용, 양 돈용 사료섭취 효율조사기					√	√	√	√		
②체중 자동측 정기술				√		√	√	√		
③환기팬 자동 제어기술				√			√			
④축산 스마트 팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술		√		√			√			

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①대가축용, 양돈용 사료섭취효율 조사기	산업체 기술이전을 통한 상품화, 축산 ICT 기술 활용을 통한 농가 이익 증대 및 부가가치 창출
②체중 자동측정기술	산업체 기술이전을 통한 상품화, 축산 ICT 기술 활용을 통한 농가 이익 증대 및 부가가치 창출
③환기팬 자동 제어기술	산업체 기술이전을 통한 상품화, 축산 ICT 기술 활용을 통한 농가 이익 증대 및 부가가치 창출
④축산 스마트팜용 유·무선 다중 데이터 송수신 기술	산업체 기술이전을 통한 상품화, 축산 ICT 기술 활용을 통한 농가 이익 증대 및 부가가치 창출

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보 전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치	10			10		20	10		10					10	10			20	
최종목표	4	4		3		3	3,800		7			2	3		2	4		6	
연구기간내 달성실적	4			4		4	178		10			1	4		6	4		14	
연구종료후 성과창출 계획		4					3,700		4			1							

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	대가축용 사료섭취량 조사장치		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	7,238천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접실시)		
이전소요기간	별도의 소요기간 없음	실용화예상시기 ³⁾	2018. 11.
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	별도의 선행조건 없음		

핵심기술명 ¹⁾	선별부를 구비한 축산용 저울		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	7,238천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접실시)		
이전소요기간	별도의 소요기간 없음	실용화예상시기 ³⁾	2018. 11.
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	별도의 선행조건 없음		

핵심기술명 ¹⁾	자동급여기용 게이트 프레임		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	7,238천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접실시)		
이전소요기간	별도의 소요기간 없음	실용화예상시기 ³⁾	2018. 11.
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	별도의 선행조건 없음		

핵심기술명 ¹⁾	환경 자동 모니터링 장치에 의한 환기팬 자동 제어 기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	10,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	별도의 소요기간 없음	실용화예상시기 ³⁾	2019.6
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	별도의 선행조건 없음		