

(옆면)

(앞면)

421020-03

현장 맞춤형
지능형 축산
(양돈, 양계)
냄새 제어
기술

최
종
보
고
서

2024

농림축산식품부
과학기술정보통신부
농촌진흥청
농림식품기술기획평가원
스마트팜연구개발사업단

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업 2024년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004726-01

현장 맞춤형 지능형 축산 (양돈, 양계) 냄새 제어 기술

2024.05.28

주관연구기관 / 성균관대학교산학협력단
공동연구기관 / (주)이엔티
공동연구기관 / (주)베가스
공동연구기관 / 국립축산과학원
공동연구기관 / 군산대학교산학협력단
위탁연구기관 / 충북대학교산학협력단

농림축산식품부
과학기술정보통신부
농촌진흥청
(전문기관)농림식품기술기획평가원
스마트팜연구개발사업단

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 · 과학기술정보통신부 장관 · 농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “현장 맞춤형 지능형 축산 (양돈, 양계) 냄새 제어 기술”(개발기간 : 2021. 04. 07. ~ 2023. 12. 31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024.05.28

주관연구기관명 : 성균관대학교 산학협력단	최재봉	(인)
공동연구기관명 : (주)이엔티	박영훈	(인)
공동연구기관명 : (주)베가스	김도현	(인)
공동연구기관명 : 국립축산과학원	임기순	(인)
공동연구기관명 : 군산대학교 산학협력단	장민석	(인)
위탁연구기관명 : 충북대학교 산학협력단	김양훈	(인)

주관연구책임자 : 권오석
공동연구책임자 : 김종욱
공동연구책임자 : 이광현
공동연구책임자 : 박준수
공동연구책임자 : 정승우
위탁연구책임자 : 허태영

「국가연구개발혁신법」 제17조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서										보안등급	
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]	
중앙행정기관명		농림축산식품부 과학기술정보통신부 농촌진흥청			사업명		사업명		스마트팜 다부처 패키지 혁신기술 개발사업		
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원 (재)스마트팜연구개발사업단			내역사업명 (해당 시 작성)		스마트팜 실증 고도화 연 구사업				
공고번호		제농축 2021-45호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-				
					연구개발과제번호		421020-03				
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EE0111	40%	ED0404	30%	EH1302		30%			
	농림식품과학기술분류	a204001	40%	a201004	30%	a201999		30%			
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문	현장 맞춤형 지능형 축산 (양돈, 양계) 냄새 제어 기술								
		영문	Site-customized intelligent livestock (pigment, poultry) odor control technology								
연구개발과제명		국문	현장 맞춤형 지능형 축산 (양돈, 양계) 냄새 제어 기술								
		영문	Site-customized intelligent livestock (pigment, poultry) odor control technology								
주관연구개발기관		기관명	성균관대학교 산학협력단		사업자등록번호		101-82-12009				
		주소	경기도 수원시 장안구 서부로 2066		법인등록번호		110171-0029501				
연구책임자		성명	권오석		직위		책임연구원				
		연락처	직장전화	[REDACTED]		휴대전화		[REDACTED]			
			전자우편	[REDACTED]		국가연구자번호		[REDACTED]			
연구개발기간		전체	2021. 04. 07 - 2023. 12. 31 (2년 9개월)								
		단계	1단계	2021. 04. 07 - 2022. 12. 31 (1년 9개월)							
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31 (12개월)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금		합계			연구개 발비 외 지원금	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금		현물
총계		2,550,000	37,760	320,660	0	0	0	0	2,587,760	320,660	2,908,420
1단계		1년차	750,000	0	103,940	0	0	0	750,000	103,940	853,940
		2년차	900,000	18,880	108,360	0	0	0	918,880	108,360	1,027,240
2단계		1년차	900,000	18,880	108,360	0	0	0	918,880	108,360	1,027,240
공동연구개발기관 등		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고				
		역할	기관유형								
공동연구개발기관		(주)이엔티	김종욱	연구소장	[REDACTED]	[REDACTED]	공동	중소기업			
		(주)베가스	이광현	수석 분석 컨설턴트	[REDACTED]	[REDACTED]	공동	중소기업			
		국립축산 과학원	박준수	농업연구 사	[REDACTED]	[REDACTED]	공동	국립연			
		군산대학교 산학협력단	정승우	교수	[REDACTED]	[REDACTED]	공동	대학			
위탁연구개발기관		충북대학교 산학협력단	허태영	교수	[REDACTED]	[REDACTED]	위탁	대학			
연구개발담당자 실무담당자		성명	신찬재		직위		연구원보				
		연락처	직장전화	[REDACTED]		휴대전화		[REDACTED]			
			전자우편	[REDACTED]		국가연구자번호		[REDACTED]			

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024 년 02 월 26 일

연구책임자: 권 오 석 

주관연구개발기관의 장:성균관대학교 산학협력단 최 재 봉  (직인)

공동연구개발기관의 장: (주)이엔티 박 영 훈  (직인)

공동연구개발기관의 장: (주)베가스 김 도 현  (직인)

공동연구개발기관의 장: 국립축산과학원 임 기 순  (직인)

공동연구개발기관의 장:군산대학교 산학협력단 장 민 석  (직인)
학교 산학협
력 단 장 인

위탁연구개발기관의 장:충북대학교 산학협력단 김 양 훈  (직인)
충북대학
산학협
력 단 장 인

농림축산식품부장관 과학기술정보통신부장관 농촌진흥청장 농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	스마트팜 다부처패키지 혁신기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	-		
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호	421020-03		
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EE0111	40%	ED0404	30%	EH1302	30%
	농림식품 과학기술분류	a204001	40%	a201004	30%	a201999	30%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	현장 맞춤 지능형 축산(양돈, 양계) 냄새 제어 기술						
연구개발과제명	현장 맞춤 지능형 축산(양돈, 양계) 냄새 제어 기술						
전체 연구개발기간	2021. 04. 07 - 2023. 12. 31 (2년 9개월)						
총 연구개발비	총 2,908,420 천원 (정부지원연구개발비:2,550,000 천원, 기관부담연구개발비: 358,420 천원, 지방자치단체지원연구개발비: 천원, 그 외 지원연구개발비: 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도 (해당 시 기재)	착수시점 기준(TRL5) 종료시점 목표(TRL7)		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		○ 본 연구개발의 목표는 환경 조건에 따른 냄새 변화 및 축사 유형별(양돈, 양계) 냄새 물질(복합악취) DB 구축 시스템 개발을 통한 관련 요소 모니터링 제어 기술, 맞춤형 냄새 저감 및 제어기술 개발 실증에 있음.				
	전체 내용		○ 현장 맞춤 지능형 축산(양돈, 양계) 냄새(복합악취) 제어 및 저감 시스템 개발을 통한 실증연구 - 축산 농가 냄새 실시간 모니터링 가능한 휴대용 바이오 전자코 개발 및 실증연구 - 복합악취 기여도 평가 및 예측 모형 개발 및 생산성 비교를 위한 다양한 통계적 방법론 개발 - 현장 맞춤형 축산 냄새 실시간 측정기 및 IoT 기반 지능형 모니터링 시스템 개발 및 실증연구 - IoT 빅데이터 시각화를 통한 농가 단위 악취 관리 정보 융합형 표준 시스템 개발 - IoT 빅데이터 및 인공지능(딥러닝 및 기계 학습) 기반 실시간 센서 데이터 활용 이상징후 감지 및 예측을 위한 실시간 조기 예/경보 알고리즘 개발 및 실증연구 - 축종별 주요 악취물질 발생 기작 및 특성 규명 - 축산 냄새 IoT 모니터링 시스템이 연계된 현장 맞춤형 거품 도포 기술 개발 및 이를 적용한 암모니아 배출 제어 기술 실증연구				
	1단계	목표	○ 현장 맞춤 지능형 축산(양돈, 양계) 냄새(복합악취) 제어 및 저감 시스템 및 test-bed 검증				
	내용	- 축산 냄새(복합악취) 검출용 휴대용 바이오 전자코 시제품 개발 및 test-bed 검증					

			<ul style="list-style-type: none"> - 축산 농가 복합악취 현장 맞춤형 측정기 시작품 개발 및 test-bed 검증 - 축산 농가 냄새 IoT 기반 지능형 모니터링 시스템 개발 - IoT 빅데이터 시각화를 통한 농가 단위 악취 관리 정보 융합형 표준 시스템을 위한 관제탑 개발 및 test-bed 검증 - IoT 빅데이터 및 인공지능(딥러닝 및 기계 학습) 기반 실시간 센서 데이터 활용 이상징후 감지 및 예측을 위한 실시간 조기 예/경보 알고리즘 설계 및 개발 - 축산 농가 주요 악취물질 발생 기작 규명 및 축종별 악취 DB 구축 및 분석 설계 - 현장 맞춤형 지능형 축산 test-bed 구축 - 축산 냄새 IoT 모니터링 시스템이 연계된 돈사 pit 내 거품 도포에 적합한 살포기 시작품 및 test-bed 검증
	n단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장 맞춤형 지능형 축산(양돈, 양계) 냄새(복합악취) 제어 및 저감 시스템 현장 실증 및 사업화
		내용	<ul style="list-style-type: none"> - 축산 농가 악취 실시간 측정기(바이오전자코 및 상용화 센서 포함) 현장 운영 및 사업화 - IoT 빅데이터 시각화를 통한 농가 단위 악취 관리 정보 융합형 표준 시스템 관제탑 현장 운영 및 사업화 - 악취 수준에 따른 생산성 비교 및 최적 복합악취 예측 알고리즘 개발 및 실증 - IoT 빅데이터 및 인공지능(딥러닝 및 기계 학습) 기반 실시간 센서 데이터 활용 이상징후 감지 및 예측을 위한 실시간 조기 예/경보 알고리즘 실증연구 및 사업화 - IoT 시스템 운영을 통한 빅데이터 기반 복합악취 추정 기법 고도화 - 현장 맞춤형 지능형 축산 test-bed 실증 - 축산 냄새 IoT 모니터링 시스템이 연계된 거품 도포 살포기 실증 및 사업화 - 암모니아 배출 제어 효율 근거 도출을 위한 정량적 결과 DB 구축

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정량적 성과 <ul style="list-style-type: none"> - 최종 정량적 성과 목표치 점수 92.84점 달성 - 기술료 151.0%, 매출액 320.0%, 논문평균 IF391.6%, 학술발표 183.3% 인력양성 200% 등 여러 지표에서 초과 달성 - 바이오전자코 제작 소자 인터페이싱 기술 개발 관련 노하우 ‘덴오믹스’ 기술이전 1건 완료, 악취 제어용 거품 제조 기술 개발 관련 노하우 ‘(주)거품환경기술’ 기술이전 1건 완료, 축산 장치들 간 관제 시스템 노하우 ‘(주)이엔티’ 직접실시 1건 완료, 악취 센서, 그 제조 방법, 및 이를 이용한 악취 측정 장치 ‘(주)이엔티’ 기술이전 1건 완료 - SCI급 논문 18편을 포함한 총 22건의 논문 출판 완료 - 소형화 전자코 센서 개발 기술 및 환경 공학 기술 관련 국내 학술회의의 세미나 참석 및 AIoT 전시회 참가 ○ 정성적 성과 <ul style="list-style-type: none"> - 축산 (양돈) 농가 악취 검출용 휴대용 바이오 전자코 및 측정기 시작품 유효성 평가/Test-bed 검증 완료 - 양돈 농가 Test-bed 구축 및 양돈·양계 축사 유형·악취 발생원별 악취 DB 구축 완료 - 악취 제거용 계면활성제/지속제 선정 및 Test-bed 실증을 통한 성능 검증 완료 - 축산 농가 악취 검출 센서 데이터 기반의 복합악취 예측 모형 설계 플랫폼 구축 완료 - 양계 농장에서의 휴대용 바이오 전자코 및 측정기 시작품 실증 완료 - 4채널 (인돌류 (인돌, 스카톨), 지방산류 (butyric acid, isovaleric acid) 휴대용 바이오 전자코 및 측정기 성능 검증 완료
연구개발성과	[기술적 측면]

<p>활용계획 및 기대 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 현장 복합악취 측정이 가능하여 이를 활용함으로써 IoT 기반 현장 맞춤형 축산 냄새 제어 기술의 구현이 가능 • 실시간 축산악취, 환경정보 모니터링 관련 데이터 시각화를 통한 농가 단위 악취 관리 정보 융합형 표준 시스템 확보 • 스마트 축산 냄새물질 및 악취 제어 저감 시스템을 적용한 암모니아 배출 제어 기술 확보 • IoT 빅데이터 딥러닝 및 인공지능 알고리즘 기반 융합형 표준 시스템이 적용된 관제탑을 활용한 스마트팜 구현 • 현장 맞춤형 지능형 축산 냄새 제어 및 저감 시스템을 통한 농가 악취 민원 문제 해소 • IoT 기반 축산 복합악취 DB 구축을 통한 농축산 환경 고도화 정책 활용 • IoT 빅데이터 딥러닝 및 인공지능 알고리즘 기반 융합형 표준 시스템이 적용된 관제탑을 활용한 스마트팜 구현 <p>[경제적·산업적 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 축산 냄새 모니터링 시스템 개발을 통한 관련 신산업 창출 • 현장 맞춤형 지능형 축산 냄새 신산업 창출 및 일자리 증대 • 현장 맞춤형 지능형 냄새 제어 및 저감 시스템을 통한 생산성 향상 및 농가 수입 증대 • IoT 기반 실시간 축산악취 냄새 모니터링 기술을 활용하여 데이터가 기반되는 축산환경 컨설팅과 합리적인 축산냄새 저감기술 융합을 통한 경제적 효과 발생 • 악취 관련 물질의 데이터적 특성을 분석한 후 영향을 미치는 오염원을 확인하고 기여도를 정량적으로 파악하여 합리적인 악취 관리를 통한 경제적 비용 감소 • 반응성 거품 도포 기술에 의한 신개념 복합악취물질 차단 및 저감 효과에 따른 상용화 및 관련 산업 국제 시장 선점 가능 												
<p>연구개발성과의 비공개여부 및 사유</p>													
<p>연구개발성과의 등록·기탁 건수</p>	<p>논문</p>	<p>특허</p>	<p>보고서 원문</p>	<p>연구 시설·장비</p>	<p>기술 요약 정보</p>	<p>소프트웨어</p>	<p>표준</p>	<p>생명자원</p>		<p>화합물</p>	<p>신품종</p>		
	18	10	3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
<p>연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황</p>	<p>구입 기관</p>	<p>연구시설·장비명</p>	<p>규격 (모델명)</p>	<p>수량</p>	<p>구입 연월일</p>	<p>구입가격 (천원)</p>	<p>구입처 (전화)</p>	<p>비고 (설치장소)</p>	<p>ZEUS 등록번호</p>				
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>축사</p>		<p>암모니아</p>		<p>IoT 빅데이터</p>		<p>인공지능</p>		<p>이상징후 감지</p>				
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Livestock house</p>		<p>Ammonia</p>		<p>IoT big data</p>		<p>Artificial Intelligence</p>		<p>Anomaly Detection</p>				

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 종질지(80g/m²)

(22쪽 중 6쪽)

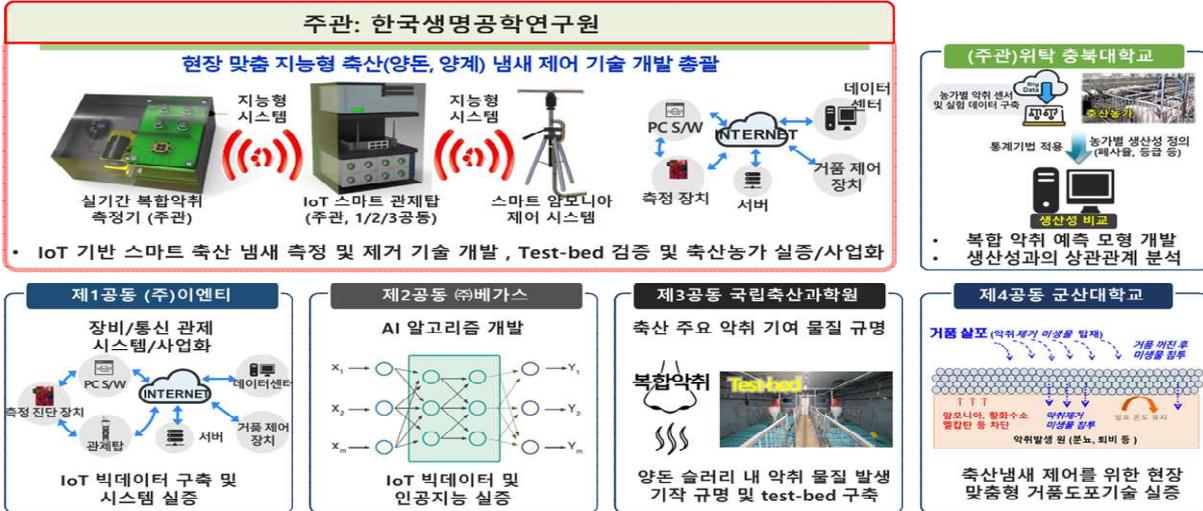
※ 각 항목에서 요구하는 정보를 포함하여 연구개발과제의 특성에 따라 항목을 추가하거나 항목의 순서와 구성을 변경하는 등 서식을 수정하여 사용하거나 별도의 첨부자료 활용이 가능합니다.

1. 연구개발과제의 개요

[연구개발 대상 및 기술·제품의 개요]

○ 연구개발 개요

- 현장 맞춤 지능형 축산(양돈, 양계) 냄새 제어 기술 개발을 위한 요소 기술 개발 및 실증/사업화



○ 연구개발 대상 확보를 위한 주관/공동 및 위탁기관별 핵심 기술 및 실증/사업화

[주관연구기관 - 한국생명공학연구원]

- 실시간 축산 농가 복합악취 및 암모니아 측정기 개발 및 실증: 인간의 코에 분포되어 있는 후각 리셉터는 악취물질(인돌, 스카톨, Butyric acid, Iso-valeric acid)들과 매우 강한 선택적 결합이 가능한 것으로, 기 확보된 축산 농가 주요악취물질에 해당되는 후각 수용체를 소자에 적용한 바이오전자코 제조 (복합악취 측정) 및 실시간 암모니아 제거 확인하기 위한 상용화 암모니아 센서 제조 기술 및 실증

[위탁연구기관(주관) - 충북대학교]

- 복합악취 분석: 검출기로부터 획득되는 복합악취 및 냄새 기여도 빅데이터를 이용하여 다양한 통계적 모형 및 기계학습 기반으로 복합악취를 분석하여 관리하게 하는 분석 핵심 기술 확보
- 악취 수준에 따른 생산성 비교 및 생산성 향상을 위한 예측 알고리즘 개발 및 실증: 농가의 생산성 지표와 악취와의 관계를 파악하여 수집 데이터를 통한 생산성 예측 및 악취 개선에 따른 생산성 변화를 보여주기 위한 핵심 기술 확보 및 실증

[제 1 공동기관 - (주)이엔티]

- 실시간 축산냄새물질 모니터링 측정기 및 IoT 기반 지능형 모니터링 시스템 개발 (관제탑) 및 실증/사업화: 축산농가 복합악취 실시간 모니터링 측정 장치와 이를 통해 수집된 데이터베이스를 기반으로 장비와 관제 시스템과의 쌍방향 통신 서버 구축. 이를 기반으로 IoT 빅데이터 시각화를 통한 농가 단위 악취 관리 정보 융합형 표준 시스템 확보 및 실증/사업화
- 스마트 팜을 통해 수집된 IoT 빅데이터와 농식품부 빅데이터 플랫폼 간의 연계 핵심 기술 확보 및 실증

[제 2 공동기관 - (주)베가스]

- IoT 빅데이터 기반 축산 냄새(복합악취) 예측 알고리즘 설계: 학습을 통해 복합 악취에 포함된 가스들의 구성 및 비율 등을 모형화하고, 실시간으로 수집되는 센서 데이터를 통해 온/습도에 따른 복합 악취 현황 추정 및 향후 복합 악취 발생 예측하여 최적화된 관리가 가능하게 하는 핵심 기술 확보 및 실증
- IoT 빅데이터 및 인공지능 (딥러닝 및 기계 학습) 기반 실시간 축산악취 조기 예/경보 알고리즘: 센서 데이터의 주기(시간, 일 등)에 따른 정상/이상 패턴을 학습하여, 이상 징후 혹은 새로운 패턴이 발견되었을 때 경보를 주어 선조치를 가능하게 하는 핵심 기술 확보 및 실증

- * 복합악취 희석배수란 냄새 시료를 거의 감지할 수 없을 때 까지 희석하는데 소요되는 희석배수를 말함
- * 국립축산과학원에서 양돈 유래 가스의 구성에 따른 복합악취추정 연구를 위해 전국 70개 양돈 농장의 악취 샘플을 기기분석하여 악취DB를 구축하였음

[제 3 공동기관 - 국립축산과학원]

- 양돈, 양계 농가 주요 악취물질 배출 특성 규명 : 축종별 주요 악취물질의 배출 특성을 규명하고, 특히 양돈 슬러리의 악취물질 발생기전을 규명하여 축종별 주요 악취관리 지표 물질을 도출 및 실증
- 현장 맞춤형 지능형 축산 냄새 재현을 위한 스마트 축산 test-bed 구축

[제 4 공동기관 - 군산대학교]

- IoT 모니터링 시스템이 연계된 양돈 슬러리 내 냄새 제어를 위한 현장 거품 도포 기술 : 악취제거 미생물이 탑재된 거품을 악취발생원 (축분 및 퇴비 등)에 도포하여 악취 발생을 1차적으로 차단하고 거품이 꺼진 후 악취제거 미생물이 2차적으로 악취발생원에 침투하여 악취물질을 원천적으로 생분해하는 핵심 기술 확보 및 실증
- 암모니아 배출 제어 효율 근거 도출을 위한 정량적 결과 DB 구축 및 실증

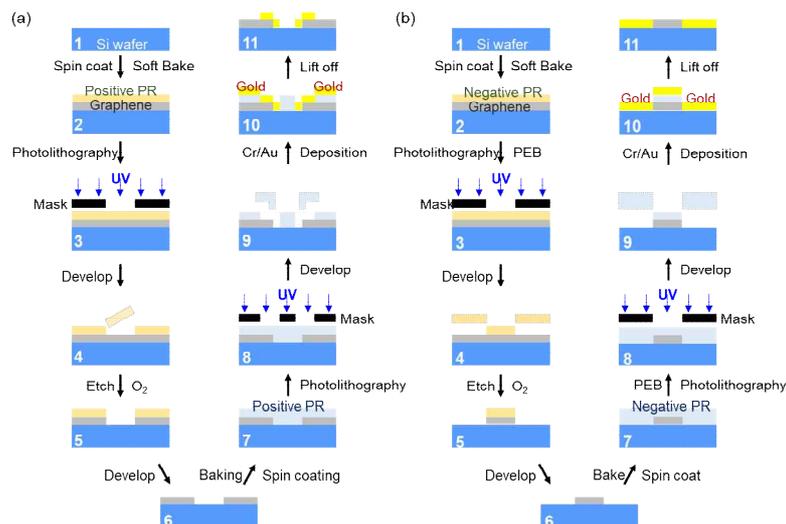
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

■ 1단계 1차년도 (2021)

1) 주관연구기관: 한국생명공학연구원

○ MEMS 기술 기반의 고감도 전기저항 플랫폼 개발

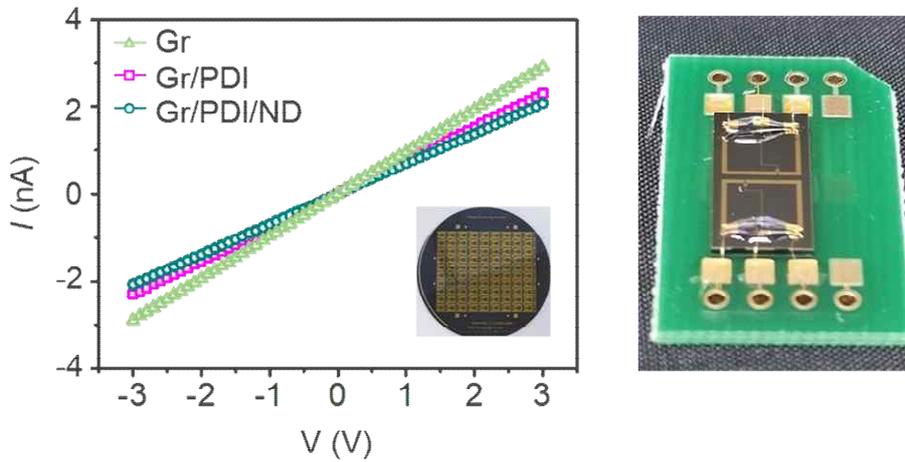
- 2D 센서 채널로 사용될 단일층 그래핀을 CVD 방법을 활용하여 8x8 (cm*cm) 사이즈의 구리 호일 위에 메탄가스와 수소 가스를 흘려주어 고르게 성장시켰으며, 에칭 용액을 사용하여 구리층을 에칭한 뒤에 실리콘 웨이퍼 기판 위에 전사함으로써 대면적의 전도성 나노 소재가 올라간 트랜지스터 기판 제작을 완료함.
- 그래핀이 증착된 실리콘 기판에 포토리소그래피, 건조식각 공정을 통해 채널을 마이크로 패터닝하였으며, E-beam 패턴 및 증착을 통해 소자를 제작함 (그림 1).



[그림 1] 전극 제작 모식도

- 휴대가 용이한 소형화 USIM 센서 소자를 개발하였으며, USIM 소자 위에 소형화 소자를 전도성 폴리머를 활용하여 결합한 뒤에 완성된 소자의 전기적 특성 분석을 진행함. 전기적 특성 분석

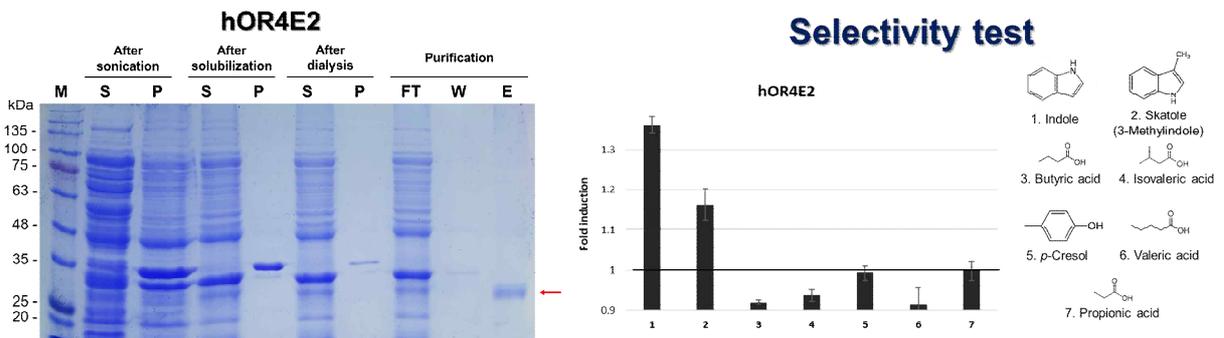
(I-V curve) 결과 대면적 소자의 일정한 성능을 확인함 (그림 2).



[그림 2] 소형화 소자 I-V curve (좌) 및 휴대용 USIM 소자 (우)

○ 축산 약취 검출용 바이오 리셉터 제작

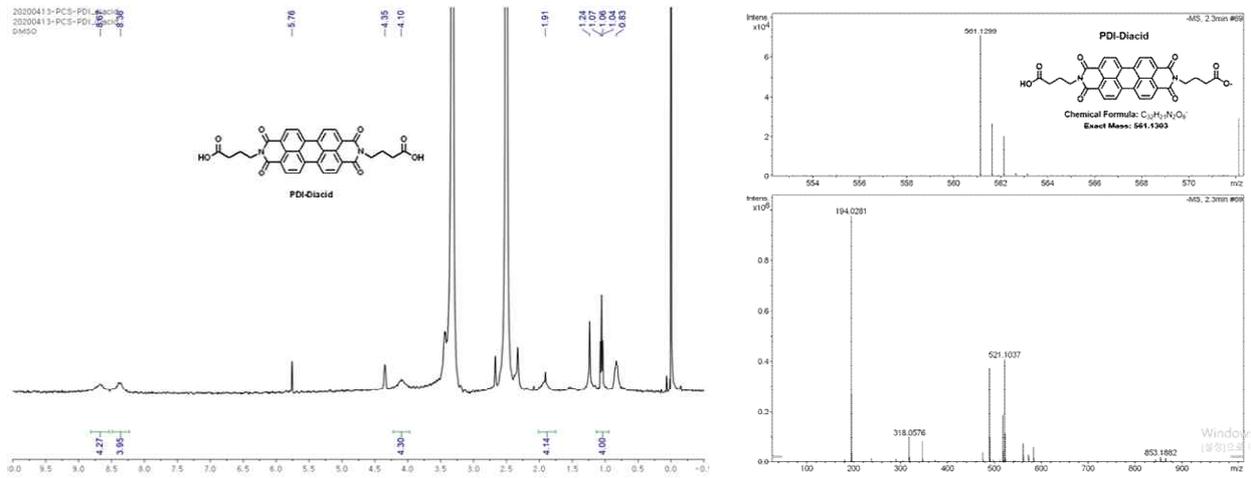
- 축산 약취 선택적 검출을 위한 다양한 유전자 라이브러리 중에서 인돌 및 스카톨과 선택적 반응을 보이는 유전자(hOR4E2)를 확보한 뒤, 단백질을 생성한 뒤에 분리·정제된 단백질량을 BCA assay를 통해서 측정하고, lipids를 혼합하여 나노디스크를 제작함 (그림 3).



[그림 3] hOR4E2 SDS PAGE 결과 (좌) 및 선택성 결과 (우)

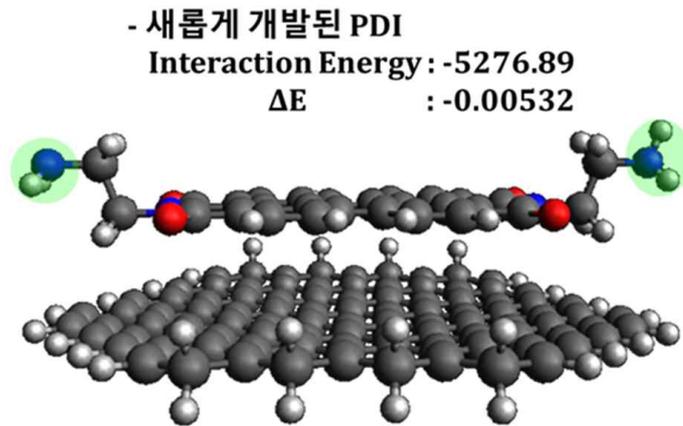
○ 신규 인터페이싱 화합물 개발

- 그래핀의 우수한 전도성 성질을 크게 변화하지 않으면서 바이オリ셉터를 효율적으로 고정화하고 비특이적 결합을 최소화하기 위해 신규 인터페이싱 화합물을 합성하였으며, NMR과 MASS 분석을 통해 성공적으로 합성되었음을 확인하였음 (그림 4).



[그림 4] 신규 인터페이싱 화합물 (PDI) NMR 데이터 (좌) 및 MASS 데이터 (우)

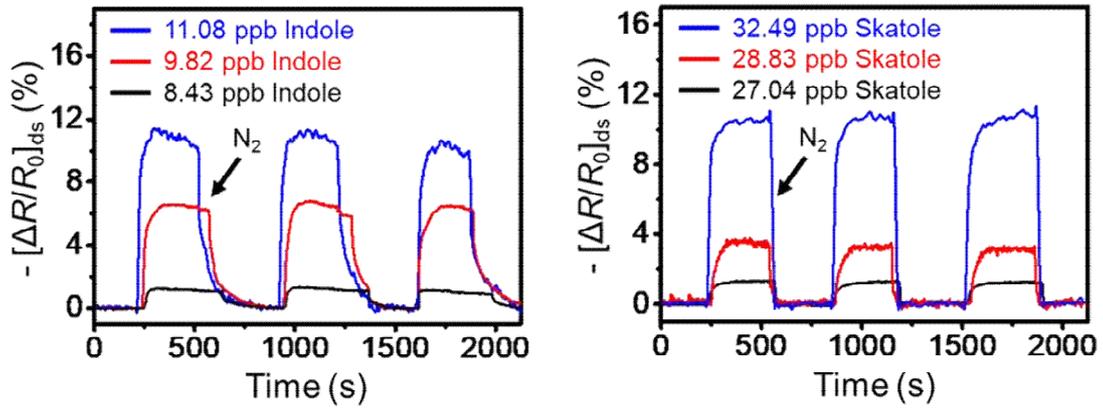
- 소형화 그래핀 트랜지스터의 표면 고정화와 안정성 확보를 위해 기존에 가장 많이 사용 중인 Diaminonaphthalene (DAN) 화합물보다 벤젠 구조의 개수를 증가시킨 구조로 그래핀 표면에 강한 π - π 상호작용을 할 것이라고 예상하였으며, 이를 밀도범함수(Density Functional Theory, DFT) 시뮬레이션 결과를 통해 확인함 (그림 5).



[그림 5] PDI-Diacid DFT 시뮬레이션 데이터

○ 인돌 및 스케톨 표준 시료 기상 검출 검증

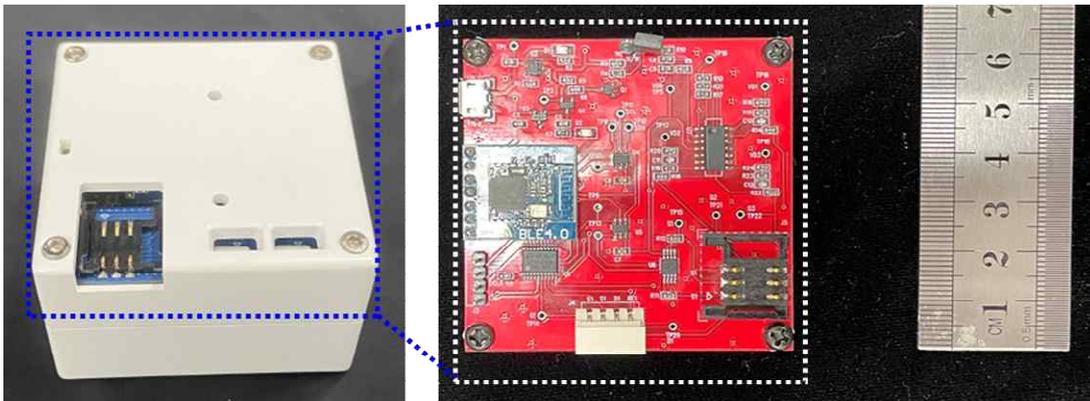
- 인돌, 스케톨 액상 시료를 기화하여 배출된 가스의 농도를 계산하여 비활성 가스와 함께 MFC를 통해 방출하여 센서 소자의 유효성 테스트를 진행하였음. 그 결과, 낮은 농도 (인돌: 8.43 ppb, 스케톨: 27.04 ppb)에서 전기적 신호 변화를 감지하였음 (그림 6).
- 향후 연구에서 표준 시료 및 국립축산과학원에서 구축한 test-bed/실증 농가에서 포집된 기체 시료의 GC-MS 결과의 비교 분석을 통해 이론상 농도 수치값과 실제 검출 가능 농도의 확인 및 검증을 진행할 예정임.



[그림 6] 소형화 소자 인돌 및 스케톨 표준 시료 기상 검출 결과 (좌: 인돌, 우: 스케톨)

○ 휴대용 센서 시작품 test-bed 성능 검증

- 휴대용으로 사용하기 위하여 단채널 소형 센서 플랫폼을 개발하여 테스트한 결과, 상용화 중인 디지털 고정밀 소스/측정 장치 대비 전류 측정 분해능이 다소 낮음을 확인함, 이에 검출능 향상을 위한 보완 연구를 향후 진행할 계획임. 또한 H₂S, NH₃ 검출용 상용화 센서와의 결합된 플랫폼 개발을 위한 보완 연구를 진행할 예정임 (그림 7).



[그림 7] 휴대용 바이오 전자코 센서 시작품

○ 축산 (양돈) 농가 현장 실증 및 기체 시료 포집

- 전라북도 익산 '성지농장' 을 방문하여 돈사 위치별(양돈장 내외부 및 분뇨 처리장) 기체 시료 포집 및 휴대용 전자코센서 시작품의 성능을 확인함. 양돈장의 내·외부 및 분뇨 처리장에서의 악취 발생 정도 확인 및 시료 포집을 진행함 (그림 8).



[그림 8] 축산 (양돈) 농가 현장 실증 및 기체 시료 포집

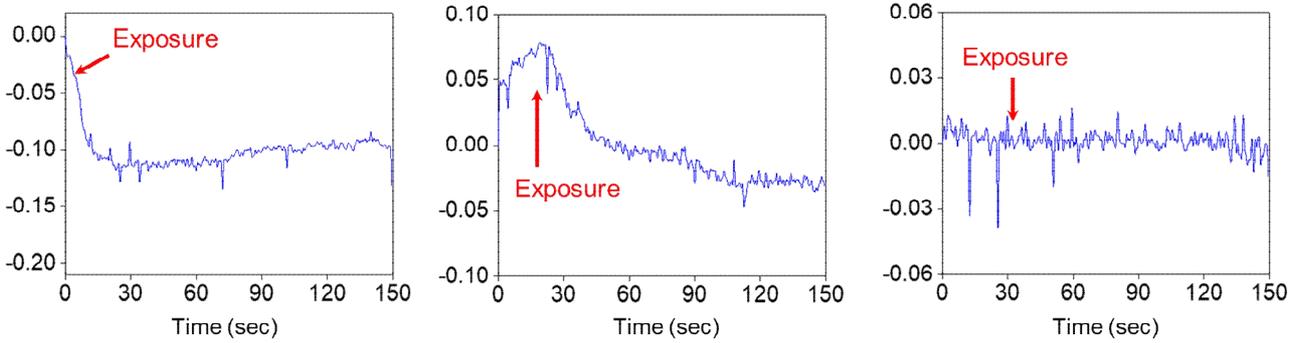
○ 국립축산과학원 test-bed 현장 실증 및 기체 시료 포집

- 세부연구기관과 함께 국립축산과학원을 방문하여 돼지 출하 전 기체 시료 포집 및 휴대용 전자코 플랫폼의 성능을 확인하였으며, 돼지가 출하된 뒤, 추가로 거품도포장비 가동 전/후의 기체 시료 포집 및 휴대용 전자코 센서 성능을 확인함 (그림 9).



[그림 9] 국립축산과학원 test-bed 현장 실증 (위) 및 기체 시료 포집 (아래)

- 돼지 출하 이후, 거품 도포 진행 전, 도포 1시간 이후, 1일 후를 본 연구를 통해 개발된 휴대용 전자코 센서를 활용하여 측정을 진행함. 거품 도포 1일 후를 제외한 나머지의 경우에는 센서가 환경에 노출되었을 때, 전류값이 감소 ($\Delta I/I_0$ 값의 감소) 한 것으로 보아 공기 중의 악취 분자와 바이오리셉터가 선택적으로 반응한 것을 확인할 수 있었으며 거품 도포로 인해 악취가 제어된 후, 센서에서 육안으로 구별되는 반응이 나타나지 않은 것을 확인하였음 (그림 10).

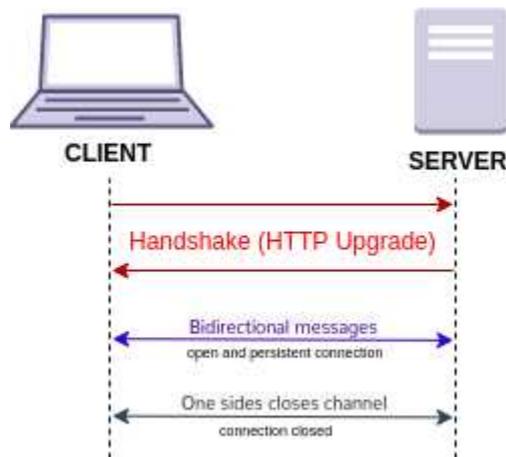


[그림 10] 돼지 출하 직전 (좌), 거품 도포 1시간 후 (가운데), 1일 후 (우) 휴대용 센서 시작품 측정 결과

2) 제 1 공동연구기관: (주)이엔티

○ 양방향 통신 프로토콜 선정

- 사물인터넷 장비들과 서버간 양방향 통신을 위해서 MQTT를 우선적으로 고려함. 그러나 별도의 브로커 서버를 갖추는 것보다 물리적 계층으로 LTE로 사용하는 측정장치를 사용하기 때문에 웹브라우저, 스마트폰의 연동을 위해 모바일 환경을 고려하여 웹소켓을 프로토콜로 선정함. MQTT는 기본적으로 제공하는 메시지 큐 서버인 메시지 브로커로는 서버스 안정성을 고려하기 어려운 부분이 있으므로, 보다 광범위하게 안정적으로 사용되며 추후 개선이 쉬운 웹소켓 서버 방식을 선택함. 또한, 웹소켓 프로토콜은 유럽 사물인터넷 표준 2.0부터 양방향 통신 프로토콜로 추가된 프로토콜임 (그림 11).



[그림 11] 웹소켓 (출처 - <https://ko.wikipedia.org/wiki/웹소켓>)

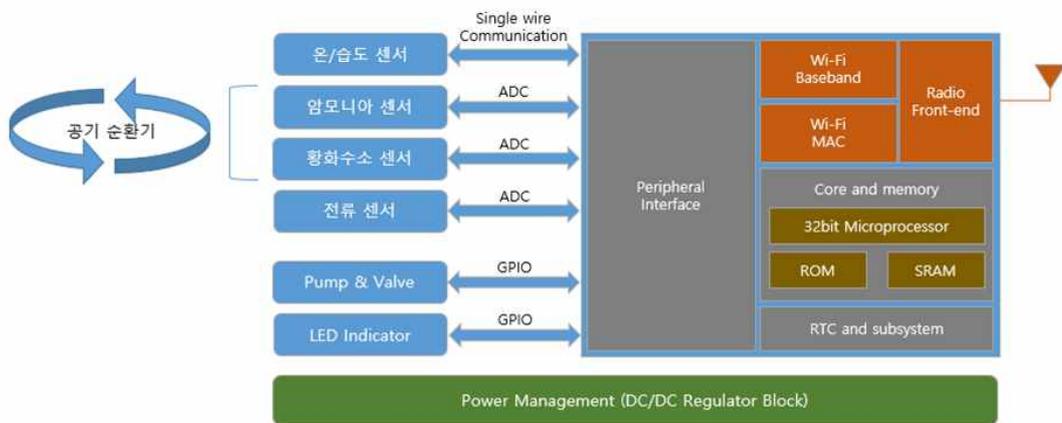
- “웹소켓 프로토콜은 HTTP 폴링과 같은 반이중방식에 비해 더 낮은 부하를 사용하여 웹 브라우저(또는 다른 클라이언트 애플리케이션)와 웹 서버 간의 통신을 가능케 하며, 서버와의 실시간 데이터 전송을 용이케 함. 이는 먼저 클라이언트에 의해 요청을 받는 방식이 아닌, 서버가 내용을 클라이언트에 보내는 표준화된 방식을 제공함으로써, 또 연결이 유지된 상태에서 메시지들을 오갈 수 있게 허용함으로써 가능하게 됨. 이러한 방식으로 양방향 대화 방식은

클라이언트와 서버 간에 발생할 수 있다. 통신은 TCP 포트 80(TLS 암호화 연결의 경우 443)를 통해 수행되며 방화벽을 통해 웹이 아닌 인터넷 연결을 차단하는 일부 환경에 도움이 됨. (출처 - <https://ko.wikipedia.org/wiki/웹소켓>)

- HTTP 프로토콜은 모바일 환경에서 다양한 강점을 가지고 있지만, 양방향 통신이 불가능하고 반복되는 요청에 부하가 많이 걸리는 단점을 가지고 있음. 이런 HTTP 프로토콜을 보강하고자 개발된 웹소켓 프로토콜로 모바일 환경에서 사용가능한 가벼운 양방향 통신 프로토콜임. 단순히 데이터를 수집하는 이상으로 IoT 장비를 제어할 필요가 있는 경우에는 웹소켓 프로토콜을 사용하는 것이 좋으며, 보안을 위해서는 ws 대신 wss를 사용할 수 있음.

○ 장비 동작 구조와 펌웨어

- 장비 동작 구조



[그림 12] 하드웨어 구성도

- 측정장치에는 전기화학식 암모니아 센서와 황화수소 센서로 구성하였는데, 온도, 습도 센서를 기본으로 부착하고 있으며, 최대 전기화학식 센서 4개, 반도체식 센서 4개의 화학물질 감지 센서를 끼울 수 있는 슬롯이 준비되어 있음 (그림 12).
- 측정을 위해서는 펌프가 동작하여 측정할 공기를 빨아들이고, 빨아들인 공기를 센서에서 측정 후, 외부의 비교적 맑은 공기를 다시 빨아들여 측정부를 세척함. 센서에서 측정된 데이터는 ADC(Analog-to-Digital Converter)를 통해 디지털 신호로 변경된 후 MCU(Micro Control Unit)에 의해 LTE 모뎀으로 서버에 전달함 (그림 13).



1. 예열 시간 : 예열, 무선 접속 및 Set-up 조건 설정
2. 공기 정화 : Pump ON, Valve OFF
3. 내부 측정 : Pump ON, Valve ON 후 센서 데이터 전송
4. 외부 측정 : Pump ON, Valve OFF 후 센서 데이터 전송
5. 휴식 시간 : Pump OFF, Valve OFF

[그림 13] 동작 순서

- 돈사 내부와 같이 열악한 환경에서 순간적인 공기오염도의 변화가 중요하지 않으므로 모든 시간에 대해 주기적으로 측정하지 않아도 됨. 사용자는 적절하게 측정구간, 세척구간, 휴식구간을 분단위로 설정할 수 있으며, 측정구간에는 정해진 초단위 간격으로 오염 물질을 측정함. 보통은 5초 간격으로 2분 측정, 2분 세척, 56분 휴식구간으로 설정하여 동작시키지만, 데이터를 자주 뽑고자하는 경우에는 15분 측정, 5분 휴식과 같이 설정할 수 있음. 개방식 측정이 아니고 펌프로 공기를 빨아들여서 측정하는 방식이므로, 휴식시간없이 계속적으로 측정하는 경우 펌프 모터에 무리가 갈 수 있음.



[그림 14] 장비 사진

- 측정부를 진공으로 차폐하고 스테인리스로 전체 전자장비를 폐쇄시키면 장비는 펌프로 공기가 유입되는 부위를 제외하고는 외부와 차단된다. 통신을 위해서 안테나는 바깥으로 돌출되어 있음. 공기를 흡입하는 부위는 분진과 수분을 차단할 수 있는 필터들이 3중으로 배치되어 있음. 이를 다시 전원부까지 모두 플라스틱 박스내에 배치함으로써 별도의 측정장치로 완성됨 (그림 14).

- 센서 데이터 정의

[표 1] 센서에서 서버로 보내는 데이터 정의

type	"data"		
status	{		
		pump	"on"/"off" : 펌프 on일때만 측정값 의미있음
		in_valve	"on"/"off" : on일 때 측정(out_valve는 off)
		out_valve	"on"/"off" : on일 때 세척(in_valve는 off)
	}		
sensorData	{		
		h2s	황화수소 값, mV
		nh3	암모니아 값, mV
		odor	복합악취 값, mV
		voc	VOC 값, mV
		indol	인돌 값, mV
		temperature	온도 값, °C
		humidity	습도 값, %
		acCurrent	전류 센서 값, mV
			}

- 측정장치와 서버간에 주고받는 모든 데이터는 json 파일로 정의함. json 형식은 키:값으로 모든 항목이 정의되며, 다층으로 구성될 수 있음. 측정장치와 서버는 미리 정의된 형식과 키로 데이터를 전달하며 변경사항이 있는 경우는 측정장치의 펌웨어와 서버의 json 파일 해석부가 동일하게 수정되어야 함.

- 장비 제어 신호 정의

[표 2] 장비의 설정값을 바꾸기 위해 서버에서 장비로 전송되는 신호

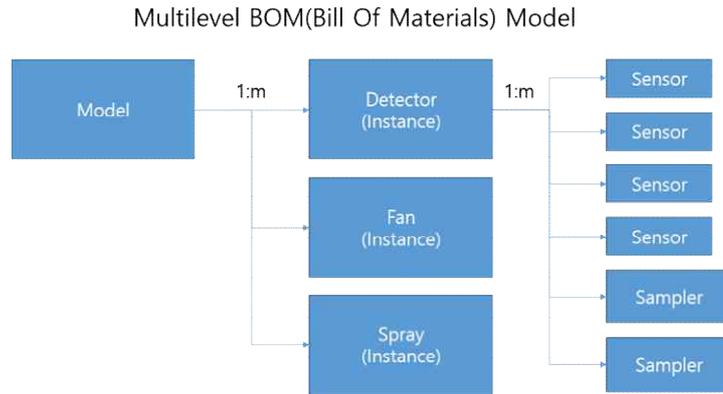
type	"setup"		
firmVer		최종 펌웨어 버전	
		새 버전 다운로드가 필요 없는 경우 생략 가능	
setup	{		
		insideTime	내부공기 순환 시간(minutes)
		outsideTime	외부공기 순환 시간(minutes)
		restTime	휴식 시간(minutes)
		dataInterval	센서 데이터 전송 주기(seconds)
	}		
network	{		
		serverURI	서버 접속 URI (ex. ws://175.208.89.113:7000, wss://www.sf.or.kr) 서버 URI 변경이 필요 없는 경우 생략 가능
	}		

- 측정장치의 설정항목으로는 측정구간(insideTime), 측정주기(dataInterval), 세척구간(outsideTime), 휴식구간(restTime)이 있으며, 정의된 형식으로 json 파일로 만들어 전송하면 웹소켓 서버가 이를 받아서 측정장치에 전달함. 측정장치는 자신에게 전달된 설정 정보를 반영하도록 펌웨어가 프로그래밍되어 있음. 브라우저나 휴대폰으로 서버에 접속하여 설정 명령을 전달할 수 있음.

○ 데이터베이스 설계

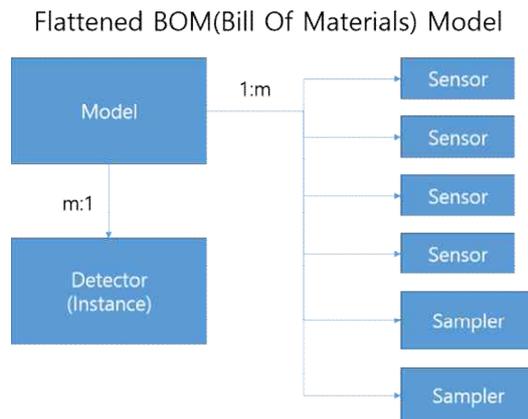
- 장비에 대한 데이터베이스 테이블 설계

- 데이터베이스에서 자재명세서를 다루는 방식으로 관제시스템에 연결되는 장비들을 설계함. 축산 농가에 설치되는 장비들은 측정장치(Detector), 포집기(Sampler), 환기팬(Fan), 에어커튼(Aircurtan), 분무기(Spray), 스크러버(Scrubber) 등으로 확장할 것을 고려하여 자재명세서(BOM:Bill Of Materials) 데이터베이스 설계방식을 따름.



[그림 15] 다단계 BOM 방식의 데이터베이스 설계

- 다단계 자재명세서 방식으로 설계가 가능하지만, 우리가 다루는 장비들을 기능 목적으로 단순화시켜서 추상화하고 복잡도를 줄이기 위해서 단순한 1차원 구조의 BOM 구조로 설계함. 이렇게 하면, 특정한 모델에 몇 개의 상이한 부품이 필요하다고 해도 각각이 특정 기능을 수행하기 때문에 물리적인 부품이 아닌 기능으로 추상화된 부품들을 모아서 하나의 모델을 구성할 수 있음 (그림 15).



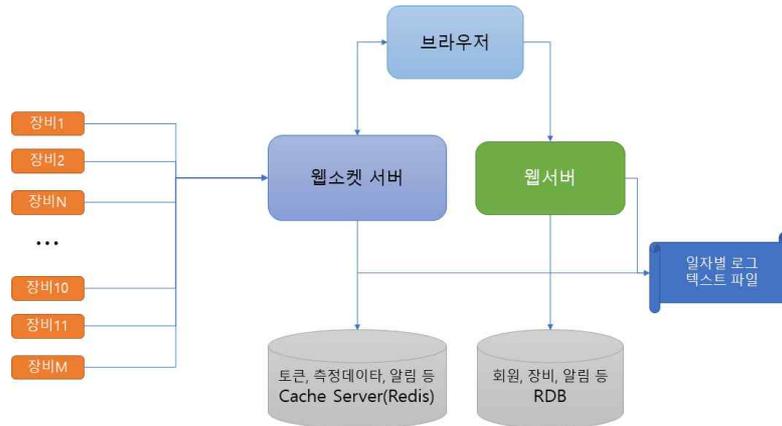
[그림 16] 1차원 BOM 방식의 데이터베이스 설계

- 1차원 BOM 방식으로 모델을 구성하면 사용자는 제품이 어떤 기능들을 가지는 모델을 따르는 지 쉽게 파악할 수 있음. 상품 모델이 측정장치 이외의 기능의 장비인 환기팬(Fan), 분무기(Spray), 거품도포기(Bubble Spray) 등과 연계되는 경우에도 쉽게 확장이 가능함 (그림 16).

- 장비 이외의 데이터베이스 테이블 설계

- 장비 이외의 모델들인 사용자, 알림, 보고서, 공지사항, 행정구역, 내정보 등은 간단하게 각각 하나의 테이블로 정의할 수 있음.

○ 시스템 구성



[그림 17] 시스템 구성도

- 개별 모듈 설명

- 측정기와 거품도포기와 같은 IoT 장비들과 서버단은 1차적으로 웹소켓 서버로 연결됨. 웹소켓 서버는 장비들과 클라이언트(PC 브라우저, 모바일앱 등)간 정보를 중개하는 중개서버 역할을 함. 또한 웹소켓 서버는 장비들로부터 들어오는 측정데이터를 데이터베이스와 클라이언트로 보낼 수 있음 (그림 17).
- 캐시서버로 사용하는 메모리 데이터베이스인 레디스(Redis) 서버는 기본적으로 사용자 세션을 관리하기 위해 토큰을 저장하는 용도로 사용함. 사용자가 로그인을 하면 서버에서 토큰을 발행하고 해당 토큰이 만료되기 전에 동일한 토큰을 사용하는 사용자의 요청이 있으면 이에 응답하고 토큰의 만료일자를 갱신함. 토큰이 만료되면 새로 로그인을 해야 함.
- 레디스 서버는 캐시서버로도 사용되는데, 웹소켓 서버에 접속된 클라이언트들에게 웹소켓에 전해진 신호를 브로드캐스팅하고, 측정된 데이터나 알림 등을 바로 데이터베이스에 저장하게 되면 각각의 신호가 발생할 때마다 데이터베이스에 저장하는 경우 데이터베이스 서버를 과부하 상태로 만듦. 따라서, 레디스 서버가 측정된 데이터들을 일정정도 보관하고 있다가 백개단위, 또는 천개단위 등으로 한꺼번에 데이터베이스에 저장하는 방법이 더 좋음. 이렇게 하지 않으면, 데이터베이스에 데이터를 계속해서 저장하기 위해 웹 서버의 요청에 응답이 느려질 수 있음.
- 웹 서버는 장비, 제품, 알림, 보고서, 공지사항, 사용자 등에 대해 구축된 데이터베이스와 통신하면서 클라이언트 사용자의 요구에 응답함. 웹 서버는 정의한 Rest API에 따라 사용자 요구에 응답함.
- 웹소켓 서버와 웹 서버에서 발생하는 각종 로그들은 일자별 텍스트파일로 저장됨. 특정한 문제가 발생하여 로그파일을 열람해야하는 경우, 관리자가 직접 서버에 접속하여 저장되어 있는 로그 파일을 직접 열람할 수 있음.

- 웹 서버의 Rest API 정의

[표 3] 웹 서버 Rest API 정의

공통 API 버전	라우터	기능
/api/v1	/dashboard	대시보드 페이지 정보 요청
	/monitor	모니터링 페이지 정보 요청
	/alerts	모든 알람 조회
	/alert/:id	삭제(알람은 수정없음)
	/alert	생성
	/reports	모든 보고서 조회
	/report/:id	특정 보고서 조회/수정
	/report	보고서 생성
	/detectors	모든 측정기 조회
	/detector/:id	특정 측정기 조회/수정
	/detector	측정기 생성
	/geocodes	모든 지역코드 조회
	/geocode/:id	특정 지역코드 조회/수정
	/geocode	지역코드 생성
	/notifications	모든 공지사항 조회
	/notification/:id	특정 공지사항 조회/수정
	/notification	공지사항 생성
	/sensors	모든 센서 조회
	/sensor/:id	특정 센서 조회/수정
	/sensor	센서 생성
	/models	모든 모델 조회
	/model/:id	특정 모델 조회/수정
	/model	모델 생성
	/users	모든 사용자 조회
	/user/:id	특정 사용자 조회/수정
	/user	사용자 생성
	/user/sign/up	회원 가입
/user/sign/in	로그인	
/user/sign/out	로그아웃	
/token/renew	토큰 재생성	

- 웹 서버의 사용자 요청은 표와 같이 Rest API로 정의되었고, 이에 대해 웹 서버는 필요한 데이터들을 데이터베이스 등을 조회하여 사용자에게 전달해줌.

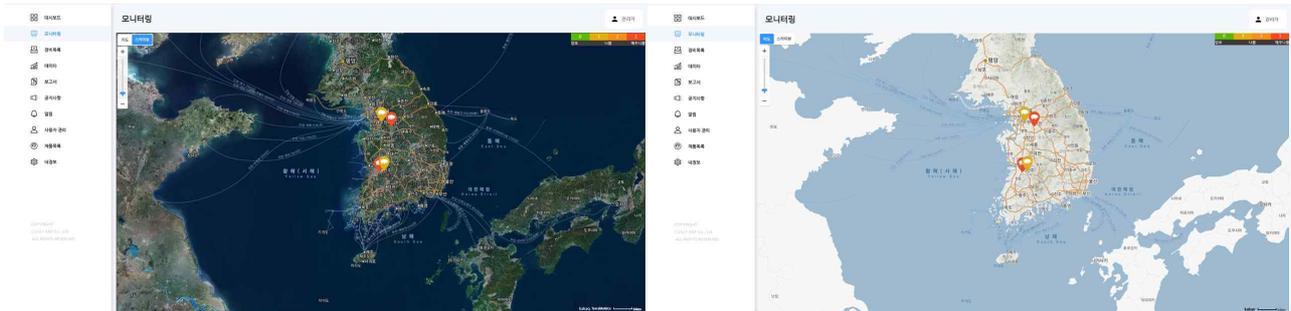
- 화면구성
 - 대시보드



[그림 18] 대시보드 화면

- 대시보드는 알림 현황과 내역, 장비 현황 등을 한번에 살펴볼 수 있음. 아직까지 이산화탄소(CO2), 인돌, 스카돌 센서를 부착한 측정장치는 없으므로 데이터가 없지만, 사업이 지속되면서 추가될 수 있으므로 미리 확장 가능하도록 자리를 만들어 둠 (그림 18).

– 모니터링



[그림 19] 모니터링 - 지도 화면 : 위성지도와 일반지도

- 지도 상에서 측정장치가 설치된 위치와 상태를 확인할 수 있음. 모니터링 메뉴를 선택하면 지도 화면이 나오고, 지도화면은 일반, 또는 위성 지도로 선택할 수 있으며, 한눈에 전체 측정장치들의 현황을 살펴볼 수 있음 (그림 19).

– 장비정보

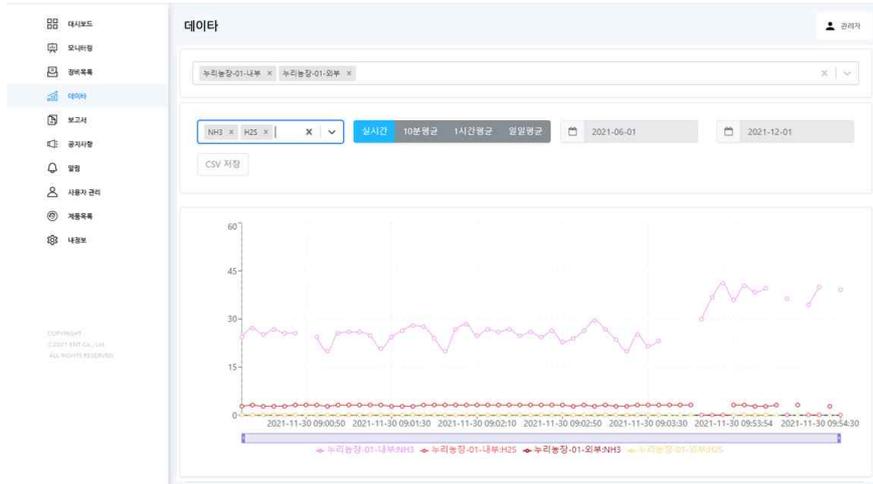


W

[그림 20] 장비 세부 정보 화면

- 장비 정보에서는 장비의 세부 사항을 살펴볼 수 있는데, 각각의 센서들의 최근 20개씩의 데이터를 받아볼 수 있으며, 장비의 여러 속성들에 대해서도 나옴. 장비의 속성들을 수정하거나 삭제할 수 있음 (그림 20).

- 데이터 : 차트보기



[그림 21] 차트 보기 화면

- 데이터 메뉴에서는 지난 데이터들을 살펴볼 수 있으며 파일로 저장할 수도 있음 (그림 21).

- 기타 : 알림, 보고서, 모델, 사용자 등

[그림 22] 기타 화면들

- 기타, 알림, 보고서, 공지사항, 모델, 사용자 등의 메뉴에 대한 화면이 준비되어 있음. 각 페이지 별 세부 사항은 2차년도에 연구 결과에서 설명되어 있음. (그림 22).

○ 측정 결과

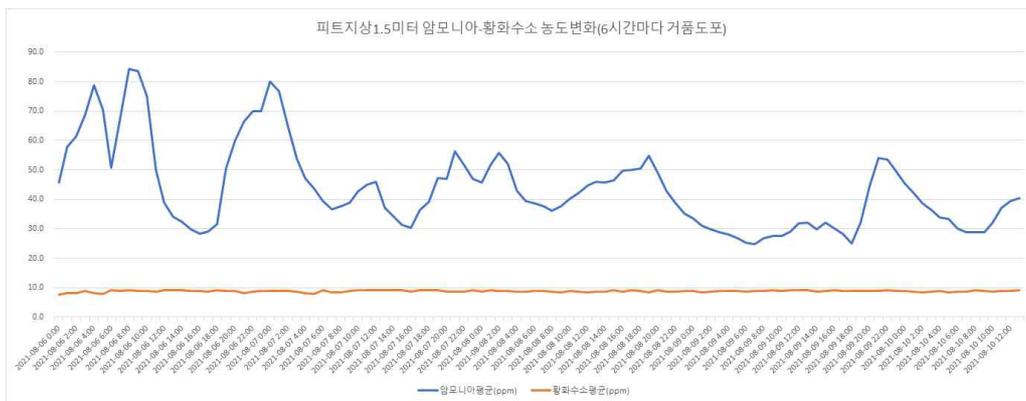
- 국립축산원 돈사 내부 피트 아래 측정 실험 결과



[그림 23] 돈사 내부 피트 아래 측정 데이터

- 국립축산과학원 실험 돈사 내에서 거품 살포기로 6시간마다 자동으로 거품을 도포하여 암모니아와 황화수소 농도가 어떻게 변하는지 측정한 결과이며, 피트 아래에서 2021년 8월 7일부터 10일까지 측정한 값을 시간 평균으로 집계함 (그림 23).

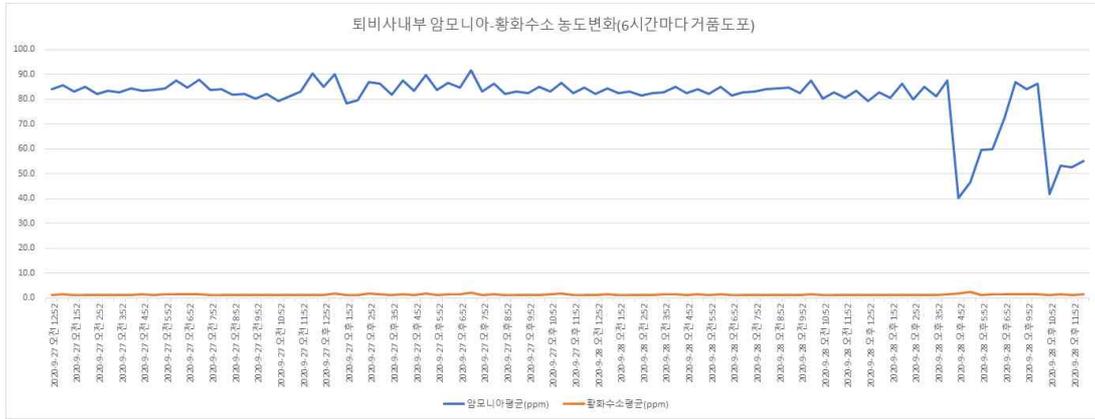
- 국립축산원 돈사 내부 피트 지상 1.5미터 측정 실험결과



[그림 24] 돈사 내부 피트 지상 1.5미터 측정 데이터

- 국립축산과학원 실험 돈사 내에서 거품 살포기로 6시간마다 자동으로 거품을 도포하여 암모니아와 황화수소 농도가 어떻게 변하는지 측정한 결과이며, 2021년 8월 7일부터 10일까지 피트 1.5미터 위치에서 측정한 값을 시간 평균으로 집계함 (그림 24).

- 완주 A 농가 퇴비사 내부 실험결과



[그림 25] 퇴비사 내부 측정 데이터

- 완주 A 농가의 퇴비사 내부에서 거품도포기로 6시간마다 자동으로 거품을 도포하여 암모니아와 황화수소 농도가 어떻게 변하는지 측정한 결과이며, 2021년 9월 27일부터 28일까지 측정한 값을 시간 평균으로 집계함. 농장 관리인이 측정장치를 착각하여 전원을 꺼서 이틀간의 데이터만 있으며, 최초 배포는 2021년 9월 28일 16시. 6시간마다 자동 도포되므로, 28일 16시, 22시 2번 도포된 상태에서 측정된 결과임 (그림 25).

- 완주 A 농가 퇴비사 외부 실험결과



[그림 26] 퇴비사 외부 측정 데이터

- 완주 A 농가의 퇴비사 외부에서 거품도포기로 6시간마다 자동으로 거품을 도포하여 암모니아와 황화수소 농도가 어떻게 변하는지 측정한 결과이며, 2021년 9월 27일부터 28일까지 측정한 값을 시간 평균으로 집계함. 농장 관리인이 측정장치를 착각하여 전원을 꺼서 이틀간의 데이터만 있으며, 최초 배포는 2021년 9월 28일 16시. 6시간마다 자동 도포되므로, 28일 16시, 22시 2번 도포된 상태에서 측정된 결과임 (그림 26).

3) 제 2 공동연구기관: (주)베가스

- 샘플 데이터를 활용하여 실시간 조기 예/경보 알고리즘 개발을 위한 데이터 마트 초안 설계함.
- 샘플 데이터를 통한 탐색적 자료 분석을 통해 개발 가능성 검토 및 보완 사항 도출함.

4) 제 3 공동연구기관: 국립축산과학원

- 양돈·양계 축사 유형·악취발생원별 악취 DB 구축함
- 국립축산과학원 test-bed 축사 육성·비육기 돼지 사육 중 (4개월) 돈사 내부 및 양돈 농가 악취발생원 (돈사 내부, 퇴비사 등) 악취물질 모니터링 (그림 27)
 - 측정항목 : 복합악취, NH₃, H₂S, VFAs(acetic acid, propionic acid, butyric acid, valeric acid, iso-butyric acid, iso-valeric acid), Indoles(Indole, Skatol), Phenols(Phenol, p-Clesol)
 - 측정방법 :
 - (1) NH₃ : 광음향 분광 분석기(INNOVA 1512)를 활용한 실시간 분석
 - (2) 복합악취, H₂S : 악취공정시험법에 따름
 - (3) VFAs, Indoles, Phenols : 흡착튜브 샘플링 후 TD-GC-FID로 분석
 - (산란계·양돈농가 유래 악취물질 28종(지정악취물질+비지정악취물질) 정량평가)
 - 측정농가 : 산란계농가 8개소, 양돈농가 3개소
 - 측정지점 :
 - (1) 산란계사 : 배기구, 계사내부, 계분·퇴비 등
 - (2) 돈사 : 돈사내부, 돈사외부, 퇴비사 등
 - 측정항목 : 지정악취물질(22종) + 비지정악취물질(6종) 분석



[그림 27] 악취물질 측정

- 측정방법 :
 - (1) 지정악취물질 22종 : 악취공정 시험법에 따름
 - (2) 비지정악취물질 6종 : VFAs(acetic acid, iso-butyric acid), Indoles(Indole, Skatol), Phenols(Phenol, p-Clesol)은 흡착튜브 샘플링 후 TD-GC-FID로 분석

[표 4] 측정결과 기술통계

분류	N	농도(ppb) * 복합악취(OU)			
		최소값	최대값	평균	표준편차
acetic acid(ACA)	66	3.41	370.07	143.90	99.23
propionic acid(PPA)	66	0.26	411.47	155.78	117.63
iso-butyric acid(IBA)	66	0.19	106.97	33.99	21.25
butyric acid(BTA)	66	2.08	334.17	111.55	90.02
iso-valeric acid(IVA)	66	3.37	253.75	66.84	48.68
valeric acid(VAL)	66	0.33	293.69	84.32	60.62
Phenol(Pn)	66	0.11	19.33	3.23	5.28
p-Clesol(P-C)	66	0.03	70.23	8.17	15.31
Indole(ID)	66	0.01	25.69	4.35	5.91
Skatol(SK)	66	0.09	152.79	13.76	32.70
복합악취	64	30.00	1732.00	327.89	312.39

[표 5] 사육일 경과에 따른 복합악취, VFAs, Indoles, Phenols 변화

사육일 경과	복합 악취 (OU)	농도(ppb)									
		ACA	PPA	IBA	BTA	IVA	VAL	Pn	P-C	ID	SK
1주	37.5	13.34	6.83	4.26	6.49	6.5	5.22	0.93	1.01	0.36	1.16
3주	145	86.3	75.06	25.12	55.23	54.06	57.14	0.2	2.43	10.11	8.23
4주	285.5	83.67	55.14	18.7	43.91	38.62	46.96	0.2	0.17	8.2	7.57
6주	229.29	166.47	184.01	46.85	110.67	66.91	103.3	1.17	1.16	8.65	9.34
7주	85.17	89.7	78.82	27.55	45.07	61.26	57.87	7.3	18.94	0.05	0.09
8주	285.67	94.33	66.87	15.27	42.27	23.58	26.75	0.2	0.17	0.05	2.83
9주	376.8	312.35	360.51	43.49	241.27	93.71	132.73	0.2	0.17	0.31	0.09
10주	1061	153.83	142.31	27.35	70.23	62.64	52.44	0.2	0.17	0.05	0.09
11주	184	72.01	150.09	31.09	118.8	59.79	76.41	0.11	0.18	16.83	109.14
12주	364	242.29	279.08	77.61	229.58	152.55	212.83	14.49	36.08	0.64	3.74
13주	364.6	201.15	243.45	45.98	234.38	96.68	131.43	12.64	35.4	1.44	9.45

- 양돈농가 악취발생원별 악취물질 모니터링 결과

[표 6] 돈사내부 측정결과 기술통계

분류	N	농도(ppb) * NH ₃ (ppm), 복합악취(OU)			
		최소값	최대값	평균	표준편차
복합악취	59	100	6694	1533	1516
Ammonia(NH ₃)	59	0.56	22.24	5.737	5.14
Hydrogen sulfide(H ₂ S)	59	22.90	1754.00	357.28	396.66
ACA	57	0.17	2446.00	506.30	552.86
PPA	57	0.24	2109.69	387.75	387.62
IBA	57	0.90	217.17	37.01	37.55
BTA	57	0.52	1455.52	329.35	323.46
IVA	57	1.58	743.69	97.29	123.13
VAL	57	0.46	1869.40	189.14	306.75
Pn	57	0.06	125.72	12.83	18.95
P-C	57	0.04	481.20	70.42	79.68
ID	53	0.01	22.26	2.49	3.53
SK	56	0.04	34.57	4.42	5.27

[표 7] 돈사외부 측정결과 기술통계

분류	N	농도(ppb) * NH ₃ (ppm), 복합악취(OU)			
		최소값	최대값	평균	표준편차
복합악취	79	5.00	10000	948	1787
Ammonia(NH ₃)	79	0.03	16.80	2.30	3.27
Hydrogen sulfide(H ₂ S)	79	0.06	2484.00	281.00	482.10
ACA	79	0.38	1316.10	235.30	338.39
PPA	79	0.23	834.00	192.18	253.09
IBA	79	0.07	380.00	23.06	46.66
BTA	78	0.52	837.83	174.33	259.95
IVA	79	0.53	255.58	48.09	66.88
VAL	79	0.33	695.69	85.32	140.17
Pn	76	0.06	39.50	6.52	8.14
P-C	79	0.06	345.00	37.60	56.28
ID	72	0.02	30.60	1.83	3.86
SK	79	0.04	10.10	2.26	2.22

[표 8] 돈분 퇴비장 측정결과 기술통계

분류	N	농도(ppb) * NH ₃ (ppm), 복합악취(OU)			
		최소값	최대값	평균	표준편차
복합악취	34	5.00	4481	263	791
Ammonia(NH ₃)	34	0.02	2.77	0.43	0.64
Hydrogen sulfide(H ₂ S)	34	0.14	574.00	76.75	148.79
ACA	34	0.37	173.00	12.22	31.29
PPA	34	0.16	49.70	4.76	9.38
IBA	34	0.07	20.60	2.04	3.88
BTA	34	0.52	61.20	5.01	11.47
IVA	34	0.53	15.80	2.58	3.42
VAL	34	0.49	6.45	1.78	1.44
Pn	34	0.18	9.65	1.10	1.834
P-C	34	0.02	105.96	5.20	18.37
ID	34	0.02	4.10	0.75	1.03
SK	34	0.04	172.45	5.60	29.48

[표 9] 산란계 농가 악취 발생원 별 악취물질 28종 정량평가

구분	단위	측정지점 농도 (avg ± sd)			최소 감지농도
		계사내부 (n=4)	계사배기팬 (n=6)	계분퇴비 (n=6)	
복합악취	OU	68 ± 69	76 ± 65	24322 ± 35289	-
NH ₃	ppm	2.4 ± 2.3	6.5 ± 5.2	687.9 ± 763.3	0.1
Trimethylamine(TMA)	ppb	5.6 ± 4	15.3 ± 15.4	2455.8 ± 2956	0.1
H ₂ S		7.1 ± 7.7	5.9 ± 3.7	12.6 ± 24.5	0.5
Methyl mercaptan(MM)		0.8 ± 0.9	1 ± 0.9	230.4 ± 256.2	0.1
Dimethyl sulfide(DMS)		0.4 ± 0.4	0.8 ± 0.7	458.3 ± 980.7	0.1
Dimethyl disulfide(DMDS)		1.1 ± 1.9	0.2 ± 0.4	131 ± 163.4	0.3
Acetaldehyde		3.2 ± 2.9	32.6 ± 45.7	201.6 ± 245	2
Propionaldehyde		0 ± 0	3.7 ± 6.8	25.7 ± 36.4	2
Butylaldehyde		0 ± 0	0 ± 0	8.9 ± 19.9	0.3
iso-valeraldehyde		0 ± 0	0 ± 0	25.3 ± 46.3	0.2
n-valeraldehyde		0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0.7
Methyl ethyl keton(MEK)		3.9 ± 4.1	18.8 ± 25.4	1734.3 ± 3379. 4	440
iso-Butyl alcohol		0 ± 0	0 ± 0	33.6 ± 63.1	10
Methyl isobutyl keton		0.5 ± 0.9	0 ± 0	3.1 ± 3.5	200
Toluene		12.6 ± 15.6	3 ± 4.7	4.2 ± 1.4	900
Butyl acetate		0 ± 0	0 ± 0	0.5 ± 1.2	16
Styrene		2.6 ± 4.5	0 ± 0	0.6 ± 0.5	30
Xylene		0.1 ± 0.2	0 ± 0	0.3 ± 0.6	380
ACA		22.2 ± 2.7	27.4 ± 7.2	18.4 ± 3.1	5.7
PPA		10.7 ± 1.6	11.3 ± 1.4	11 ± 4.9	2
IBA		1.6 ± 0.1	1.8 ± 0.5	4.7 ± 4.6	1.5
BTA	3.5 ± 1.1	4.6 ± 3.5	8.4 ± 7.1	0.07	
IVA	1.5 ± 0.6	1.4 ± 0.7	9.4 ± 9.3	0.05	
VAL	1.6 ± 0.2	1.8 ± 0.5	1.7 ± 0.1	0.1	
Pn	0.7 ± 0.2	1 ± 0.2	92.2 ± 116.8	0.28	
P-C	1.1 ± 0.5	1.3 ± 0.3	11.4 ± 14.4	0.054	
ID	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.2	14.2 ± 23.4	0.3	
SK	2.1 ± 0.4	2.2 ± 0.8	2.7 ± 1	0.0056	

■ : 측정지점의 평균농도가 최소감지농도보다 높은 경우 표를 노란색으로 표시하였음

- 스마트 현장 맞춤형(양돈) test-bed 구축 및 운영

- 국립축산과학원에서 보유한 시험돈사 일부를 활용하여 해당과제의 양돈 Test-bed로 구축
 - (1) 동일한 형태의 2개 돈방 활용하여 악취 모니터링 및 악취저감 시험 시 활용함
 - (2) 돈사내부 온도 모니터링 및 환기 자동관리 시스템 구축
 - (3) 암모니아 실시간 모니터링 시스템 구축(INNOVA 1512)

[표 10] test-bed 개요

구분		내용
돈방 시설	돈방면적	· 전체 면적 : 5.8m × 7m · 사육 면적 : 5m × 7m · 팬 면적 : 2.5m × 3.5m
	구획	· 가운데 복도를 기준으로 양쪽에 2개씩 총 4개의 팬으로 구획됨
	환기형태	· 측벽 강제 배기(음압식) · 복도 입기
	바닥형태	· 팬을 기준으로 100% 슬랏바닥(관리용 복도는 평바닥)
온도 관리	설정온도	· 23℃
	온도 조절	· 환기조절 시스템으로 설정온도를 기준으로 환기팬의 가동율을 자동으로 조절하며, 냉난방기는 사용하지 않음
시험축 도입	입식주령	· 10주령(육성기)
	입식두수	· 34두
	사육밀도	· 1.03m ² /두
	사육기간	· 2021년 4월 ~ 2021년 7월
급이 · 급수	급이 방식	· 사료빈 활용 , 무제한급이
	급이 · 급수기	· 급이기 : 17두/대
	당 수용두수	· 급수기 : 8.5두/대
청소 관리	분뇨처리	· 피트 하부의 슬러리는 최대 수용 수준에 도달했을 때 비움
	청소	· 피트 상부의 사육구역은 입식전 · 출하후 청소

- (국립축산과학원) 육성·비육기 돼지 사육 중 돈사내부 악취물질 모니터링 시험
 - * 시험기간 : 2021년 4월 ~ 7월
- (한국생명공학연구원) 돈사 내부 악취물질 시료 제공
 - * 시험기간 : 2021년 8월 2일 ~ 8월 5일
- (ENT) 악취측정장치 시작품 테스트
 - * 시험기간 : 2021년 8월 2일 ~ 8월 5일
- (군산대학교) 계면활성제 폼 슬러리도포 악취저감 시험
 - * 시험기간 : 2021년 8월 2일 ~ 8월 5일
- * INNOVA를 활용한 암모니아 농도 실시간 측정 데이터 제공

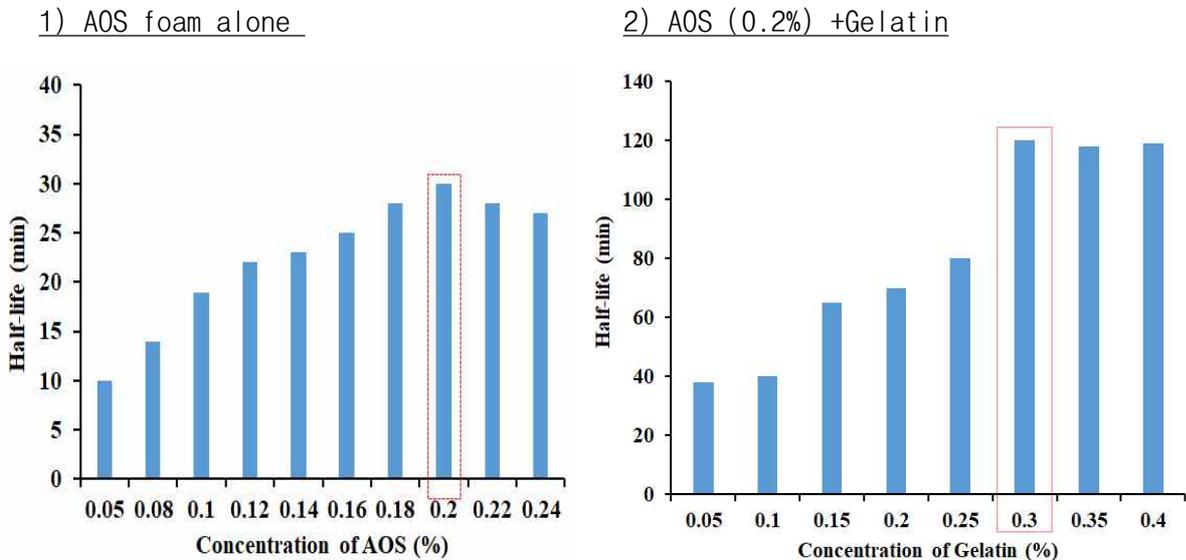
[표 11] test-bed 실시간 환경·악취 모니터링 시스템

구분	측정 방법	데이터 수집 주기	단위	측정지점
온도	환기조절 시스템의 온도센서	~10분	℃	돈방내부
환기율	환기조절 시스템의 환기팬 가동률 모니터링	~10분	%	환기팬
암모니아	INNOVA 1512 + 멀티샘플러(6포트)	1분~	ppm	돈방내부

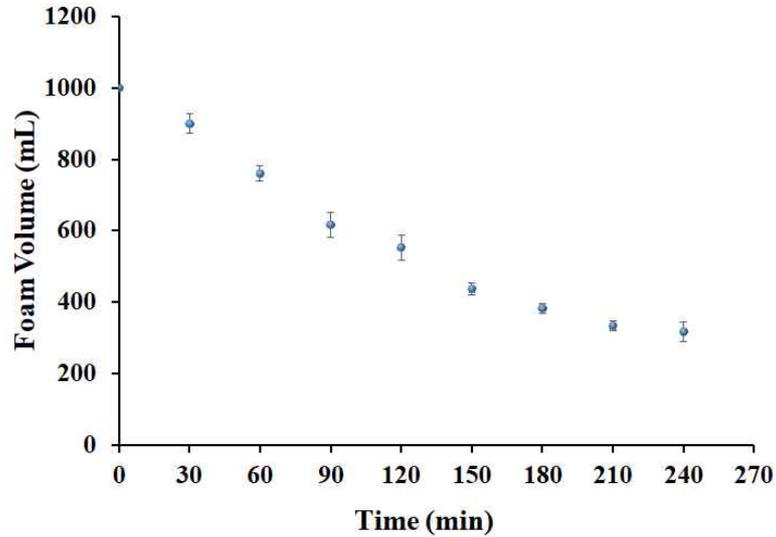
5) 제 4 공동연구기관: 군산대학교

○ 약취제어용 거품 개발: 적정 계면활성제 및 지속제 선정 (그림 28)

- 거품생성에는 음이온성 계면활성제가 적합한 것으로 판단.
 - 음이온성 계면활성제 중 거품 생성이 용이한 Sodium alpha olefin sulfonate (AOS)를 선정함.
- AOS용액의 거품 지속성을 평가한 결과 거품의 지속성은 대부분 1시간 이내로 나타남.
 - 거품의 지속도 (foam stability)는 생성된 거품 부피가 반으로 줄어드는 반감기 (half-life)로 평가하였는데, AOS의 거품지속도는 30분 가량으로 나타남.
- AOS 농도 변화에 따른 거품지속도 평가결과 0.2%이상 농도에서 거품지속도가 가장 높은 것으로 나타남.
- AOS의 거품 지속도를 향상시키기 위해 거품 지속제로서 gelatin을 선정함.
 - gelatin 농도 변화를 통한 거품 지속도를 평가한 결과, 0.3%가 적정 농도로 평가되었으며 거품의 반감기는 2시간 정도로 얻어짐.
- 최적 계면활성제와 지속제 조건에서 거품의 총 지속시간은 4시간 이상인 것으로 나타남. (거품이 최종 없어지는 시간은 8시간 전후임)



[그림 28] AOS를 사용했을 때 계면활성제 반감기 변화분포도
 1) AOS만 사용했을 때 2) AOS와 gelatin을 함께 사용했을 때



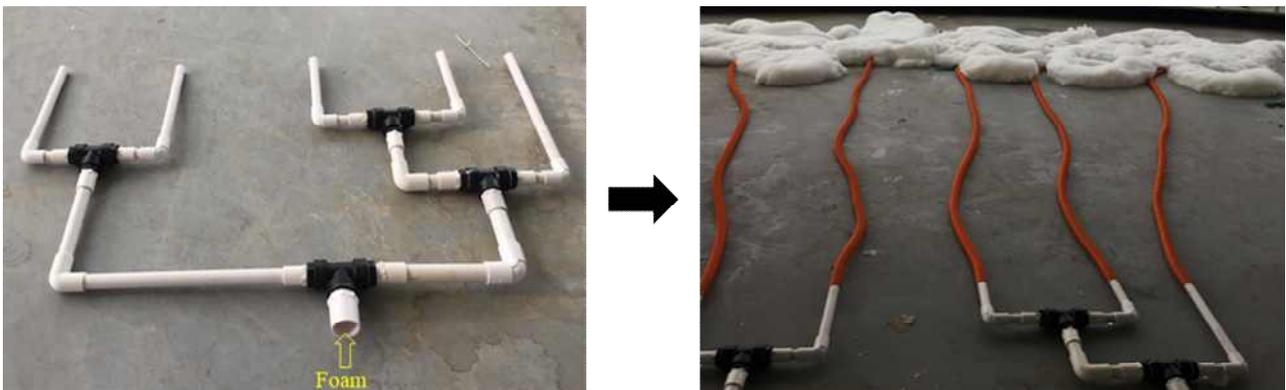
[그림 29] 0.2% AOS 및 0.3% 젤라틴을 사용하여 생성된 거품의 부피 감소

- 계면활성제 거품의 지속도 (foam stability)은 질량 실린더로 확인함.
 - (1) 거품 발생을 위해 계면활성제 50 mL를 취하여 공기를 주입.
 - (2) 계면활성제 폼이 생성되어 질량 실린더 상단에 도달함에 따라 시간별 폼의 반감기와 안정성 확인
 - (3) [그림 28]-(1), AOS만을 사용하여 생성된 폼의 반감기는 0.2% AOS로 30분.
 - (4) AOS에 젤라틴을 첨가에 따라 거품의 반감기가 [그림 28]-(2)와 같이 2h로 증가.

○ 축분뇨 슬러리 상 test-bed 실증 (Field scale application of foam)

- 슬러리 phase 실험

- 폼의 이동 최적화



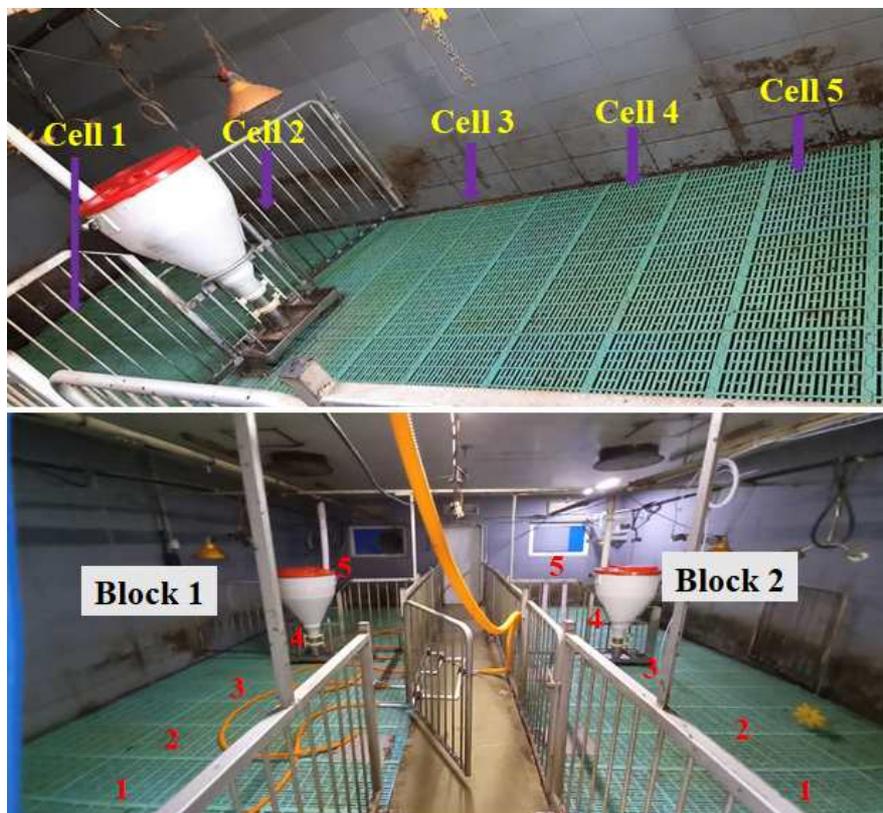
[그림 30] 분기를 통한 거품생성의 실험실 최적화

- (1) 국립축산과학원 슬러리포트 내 거품도포기술 증명을 위해 거품도포관을 준비하였음.
- (2) 국립축산과학원 test-bed내 양돈장 좌/우로 Block1/Block2로 구분하였으며 각 Block은 5개 cell 슬러리포트로 구성되어 있음. 본 연구에서는 각 슬러리포트 cell에서 발생하는 초기 NH_3 발생농도를 측정하였으며 거품 도포 후 NH_3

발생농도를 측정하여 비교하였음 (그림 30).

- (3) Block 1의 초기 NH₃ 발생농도는 35~60 ppm이었으며 Block 2에서는 25~65 ppm을 보였음. 거품도포 후 NH₃ 측정농도는 Block 1에서 0~15 ppm, Block 2에서 0~10 ppm을 보였음. 양돈장 내부 NH₃ 배경농도가 10 ppm 전후였음을 감안한다면 거품도포 후 발생하는 NH₃는 극히 낮음.
- (4) 양돈장 슬러리피트 내 거품도포로 발생하는 NH₃를 급격히 감소시킬 수 있음을 확인함. 그러나 도포된 거품의 지속시간은 4시간 정도로서 이후 거품이 꺼진 후 NH₃ 발생농도는 다시금 15~50 ppm으로 회복되는 것으로 나타남.
- (5) 본 연구에서는 이와 같은 패턴을 3회 거품도포로서 모두 확인하였음. 즉, 거품도포 후 NH₃ 발생농도는 거의 발생 되지 않지만 거품붕괴 후 농도는 다시금 회복됨. 그러나 회복된 농도는 초기농도보다 줄어든 양상을 보였음.
- (6) 전달 튜브를 분기하는 동안 균일하고 동일한 크기의 거품이 생성됨.

• 폼 이용 및 covering



[그림 31] 폼 도포 부위(각 셀 길이 1.71m, 너비 1.46m)

Foam delivery

Slurry covering



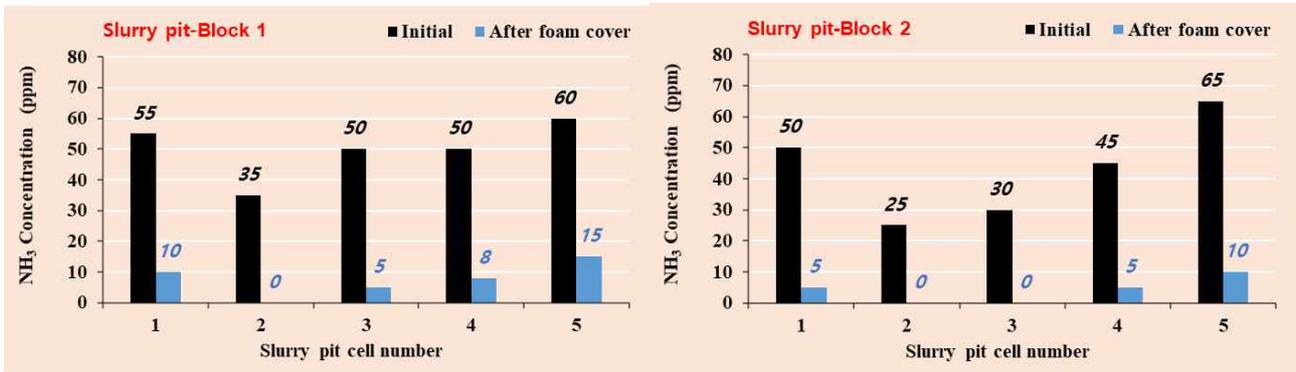
[그림 32] 폼 전달 뒤 슬러리 덮기

- (1) 슬러리피트 거품도포 면적의 1단계 목표는 50%를 도포하는 것이었는데, 1차년도 올해 슬러리피트 면적을 모두 거품 도포할 수 있는 것으로 나타나 '초과달성' 하였음.
- (2) 현장에서는 각 셀에 폼 전달의 5가지 분기를 별도로 삽입 (그림 31). 거품이 한 블록으로 완전히 덮이면서 거품 배송 파이프가 다음 블록으로 옮겨져 거품이 채워짐. (그림 32) 는 거품의 전달과 세포 내부의 거품의 덮개.

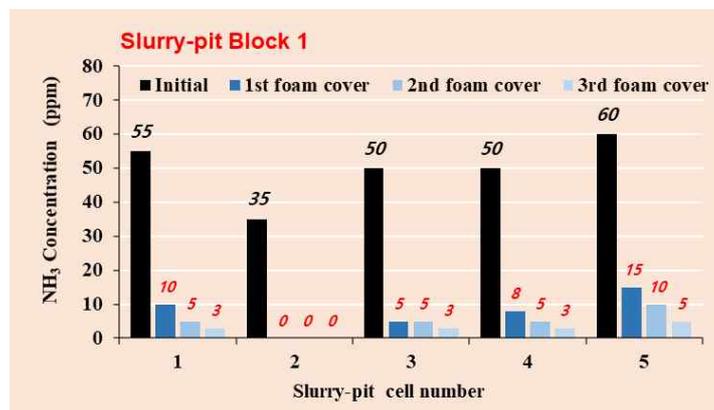
• 슬러리 셀에서 폼 덮은 후 얻은 결과



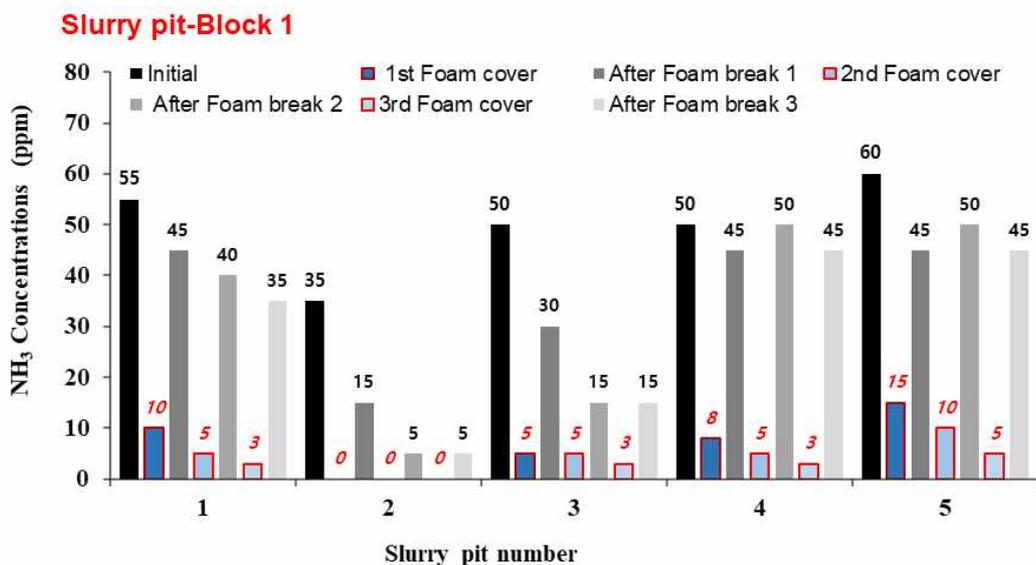
[그림 33] Test-bed 양돈장 슬러리 피트 각 cell에서 발생되는 NH₃ 초기 농도와 거품 도포 후 NH₃ 농도 측정 모습



[그림 34] 국립축산과학원 Test-bed 양돈장 슬러리 피트 Block 1과 Block 2에서 발생하는 NH₃ 초기 농도와 거품도포 후 NH₃ 농도



[그림 35] 국립축산과학원 Test-bed 양돈장 슬러리 피트 Block 1에서 NH₃ 초기 농도와 3회 거품도포 후 NH₃ 농도 측정 결과



[그림 36] 국립축산과학원 Test-bed 양돈장 슬러리 피트 Block 1에서 NH₃ 초기 농도와 3회 거품 도포 후 NH₃ 농도 측정 결과와 거품 소멸 후 NH₃ 농도 측정 결과.

- (1) [그림 34],[그림 35]과 같이 계면활성제 폼을 물리적 배지로 사용했을 때 초기 암모니아 농도는 크게 감소.
- (2) 거품이 깨지면. 암모니아 농도가 높아짐 (그림 36).

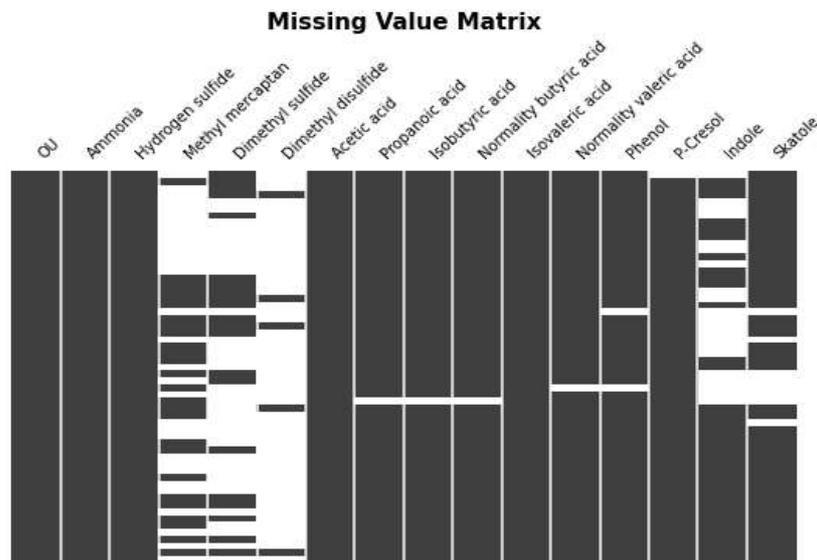
[표 12] 성과지표 현황

평가항목	단위	연구개발 목표치 (2021~2022)	1차년도(2021) 성과(자체평가)
돈사 pit 거품 도포 면적	%	50%	100% (초과달성)
돈분 슬러리상 거품지속시간	hrs	2	2 (달성)
돈분 슬러리상 암모니아 저감율	%	50	42 (2022년 달성예정)

6) 위탁연구기관(주관): 충북대학교

질소 계열	암모니아
황 계열	황화수소, *메틸메르캡탄, *다이메틸설파이드, *다이메틸다이설파이드
휘발성 유기화합물	*프로피온산, *n-뷰틸산, *n-발레르산, l-발레르산, 아세트산, *l-뷰틸산, *페놀, 파라크레졸, *인돌, *스카톨

- 결측값 비율이 90% 이상 차지하는 변수는 모형에서 제거하였으며, 나머지 결측 비율이 적은 변수에 대해 결측값 대체를 진행하였으며 본 분석에서는 결측값 비율이 91.2%인 다이메틸다이설파이드를 제외 나머지 9종의 악취물질 변수에 결측값 대체 진행
- [그림 37]은 분석에 사용된 15종 악취물질의 결측값에 대한 시각화 자료로 흰색이 결측값, 검은색이 정상 관측값 의미.

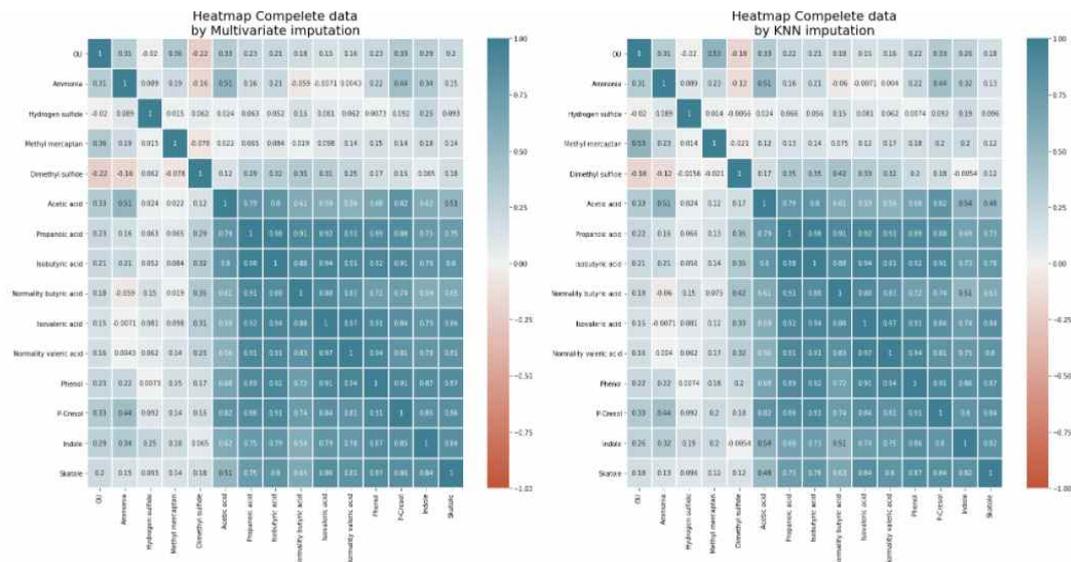


[그림 37] 분석 데이터 결측값 분포도

- 복합악취 기여도 평가를 위해 악취물질 변수 중 복합악취에 영향을 주는 정도를 나타내는

변수중요도를 사용

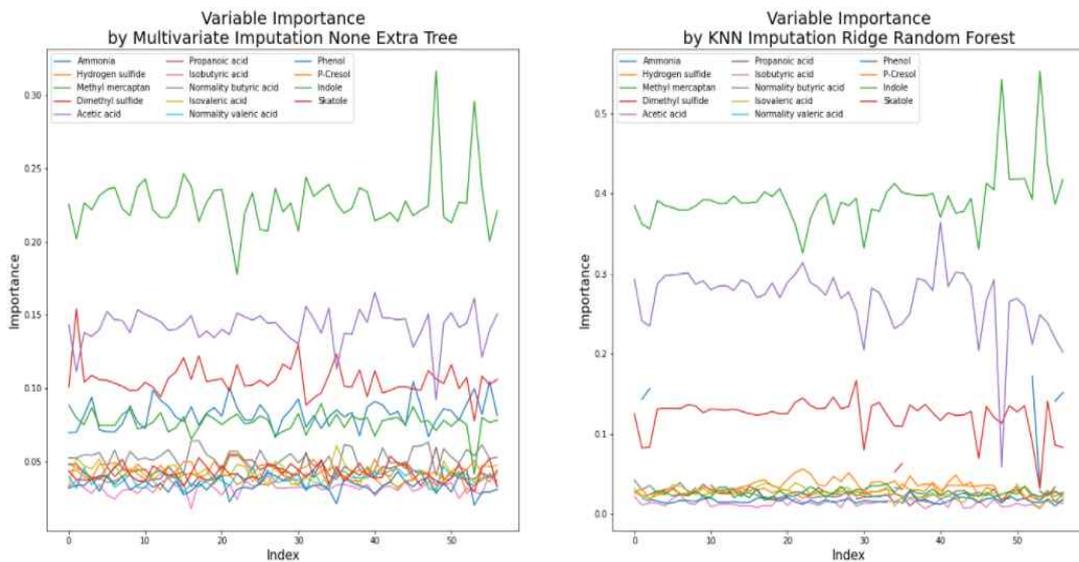
- 최적의 결측값 대체 방법을 찾기 위하여 7가지 결측값 대체 기법 사용
 - (1) 평균을 이용한 단순 대체법(Simple imputation by mean)
 - (2) 중앙값을 이용한 단순 대체법 (Simple imputation by median)
 - (3) 베이지안 릿지를 이용한 다변량 대체법 (Multivariate imputation by Bayesian Ridge)
 - (4) 극단 랜덤화 트리를 이용한 다변량 대체법 (Multivariate imputation by Extra Tree)
 - (5) 베이지안 릿지를 이용한 다중 대체법 (Multiple imputation by Bayesian Ridge)
 - (6) 가우시안 프로세스 회귀를 이용한 다중 대체법 (Multiple imputation by Gaussian Process Regression)
 - (7) K-최근접 이웃 대체법 (K-Nearest Neighbor imputation)
- 모형 설계에 사용된 약취물질 변수의 결측값 대체를 위해 7가지 기법을 사용 및 비교한 결과 두 방법이 가장 우수한 것으로 나타남.
 - 베이지안 릿지를 이용한 다변량 대체법 (Multivariate imputation bt Bayesian Ridge)
 - K-최근접 이웃 대체법 (K-Nearest Neighbor imputation)
- 결측값 대체된 데이터의 상관관계 결과([그림 38]), 두 기법의 결과에 대해 메틸메르캅탄 변수만 차이가 발생(0.357, 0.535) 나머지 변수의 경우 거의 유사한 결과로 나타남.
- 복합약취와 약취물질의 상관관계 결과 황화수소(-0.02)와 다이메틸설파이드(-0.2)는 음의 상관관계로 두 변수의 값이 증가하면 복합약취는 감소하는 것으로 나타났으며, 다른 변수들은 양의 상관관계로 변수들의 값이 증가하면 복합약취도 증가하는 것으로 나타남.



[그림 38] 결측값 대체된 데이터의 상관관계 히트맵

- 복합약취 기여도 평가를 위해 최적의 모형으로 선정된 2개 모형의 변수 중요도를 사용하여 복합약취에 가장 많은 영향을 주는 약취물질을 확인한 결과는 다음과 같음

- 공통으로 메틸메르캡탄이 가장 중요한 변수로 나타났으며, 그다음으로 중요한 변수로는 아세트산, 다이메틸설파이드 순서로 나타남.
- [그림 39] 왼쪽 결과, 위 세 변수에 이어 암모니아와 인돌 변수가 다른 변수들에 비해 중요한 것으로 나타남.
- [그림 39] 오른쪽 결과, 암모니아 변수의 중요도가 다이메틸설파이드 변수와 비슷한 것으로 나타났으나 변수전처리 기법인 릿지(Ridge)에 의해 사용되지 않은 경우가 많은 것으로 나타남.
- 즉, 전체적으로 메틸메르캡탄, 아세트산, 다이메틸설파이드, 암모니아, 인돌 순으로 중요한 변수인 것으로 나타났으며, 다른 변수는 서로 비슷한 수준의 변수 중요도를 갖는 것으로 나타남.



[그림 39] 복합약취에 대한 각 약취물질에 따른 변수 중요도(기여도)

- 센서 데이터 기반 복합약취 예측모형 개발을 위한 설계
 - 복합약취 예측모형 개발을 위해 다양한 기법의 예측모형 생성 후 최적의 예측 모형을 선정.
 - 예측 성능 향상을 위해 결측값이 대체된 데이터에 6가지의 전처리 기법을 사용.
 - 표준화 (변수의 평균을 0, 표준편차를 1로 변환)
 - 변수 선택법(3개) : 릿지(Ridge), 라쏘(Lasso), 엘라스틱 넷(Elastic Net)
 - 변수 추출법(2개) : 부분최소 제곱법(PLS), 주성분 분석(PCA)
 - 최적의 복합약취 예측 모형 선정을 위해 7가지 예측모형 사용.
 - 다중 회귀 (Multiple Regression)
 - 랜덤 포레스트 (Random Forest)
 - 극단 랜덤화 트리 (Extreme Randomized Tree)
 - XGboost
 - 1층 다중 퍼셉트론 (Multiple Perceptron with 1 hidden layer)
 - 2층 다중 퍼셉트론 (Multiple Perceptron with 2 hidden layer)
 - 인공신경망 (Artificial Neural Network)
 - 본 분석에서는 데이터의 수가 적어 모형 검정 기법으로 Leave-One-Out 교차검정(L00CV)을

사용, 모형 선정 기준으로 R^2 값과 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용.

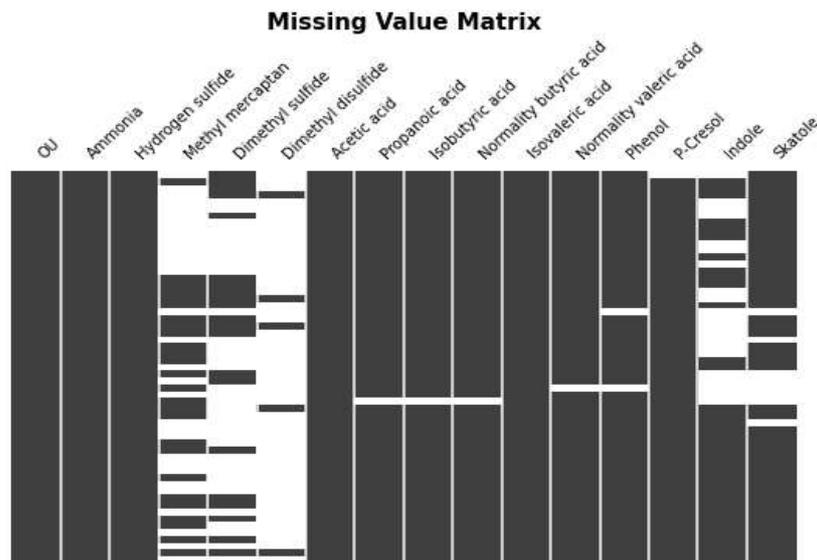
○ 농가 실험 데이터 기반 다양한 복합악취 기여도 평가 모형 설계

- 복합악취 기여도 평가 모형 개발을 위해 구축된 악취물질 데이터를 활용하여 분석을 실시하기 위한 설계에서 구축된 악취물질 변수에 결측값(Missing value) 문제가 발생하여 이를 해결하고자 다양한 기법을 적용
 - 분석모형 설계를 위해 획득한 악취물질 15종 중 10종의 악취물질에서 높은 결측값 발생 확인

[표 13] 모형 개발에 사용된 악취물질(*: 결측값 발생한 악취물질)

질소 계열	암모니아
황 계열	황화수소, *메틸메르캅탄, *다이메틸설파이드, *다이메틸다이설파이드
휘발성 유기화합물	*프로피온산, *n-뷰틸산, *n-발레르산, l-발레르산, 아세트산, *l-뷰틸산, *페놀, 파라크레졸, *인돌, *스카톨

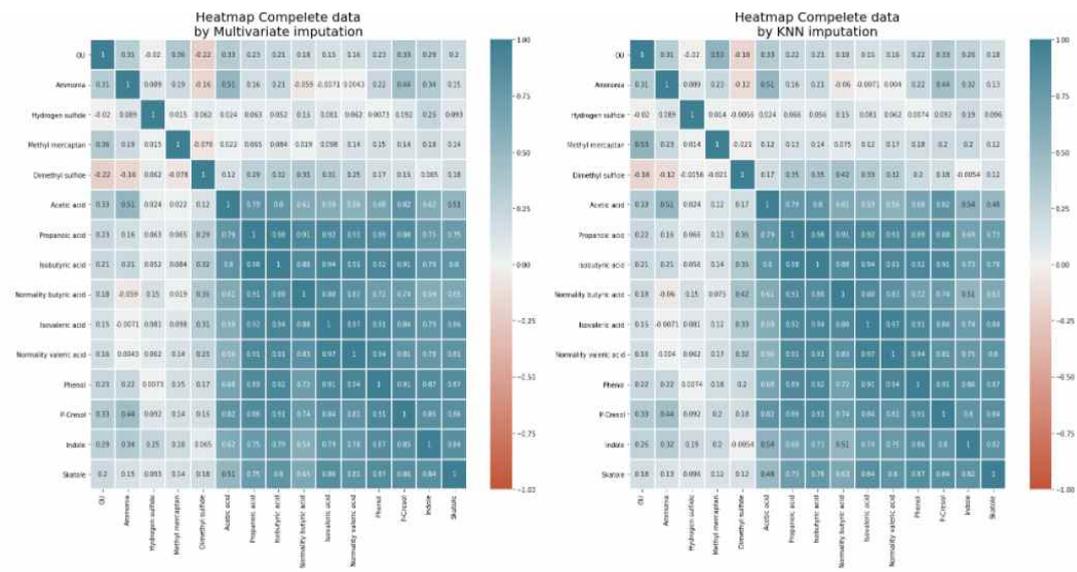
- 결측값 비율이 90% 이상 차지하는 변수는 모형에서 제거하였으며, 나머지 결측 비율이 적은 변수에 대해 결측값 대체를 진행하였으며 본 분석에서는 결측값 비율이 91.2%인 다이메틸다이설파이드를 제외 나머지 9종의 악취물질 변수에 결측값 대체 진행
- [그림 37]은 분석에 사용된 15종 악취물질의 결측값에 대한 시각화 자료로 흰색이 결측값, 검은색이 정상 관측값 의미.



[그림 37] 분석 데이터 결측값 분포도

- 복합악취 기여도 평가를 위해 악취물질 변수 중 복합악취에 영향을 주는 정도를 나타내는 변수중요도를 사용
 - 최적의 결측값 대체 방법을 찾기 위하여 7가지 결측값 대체 기법 사용

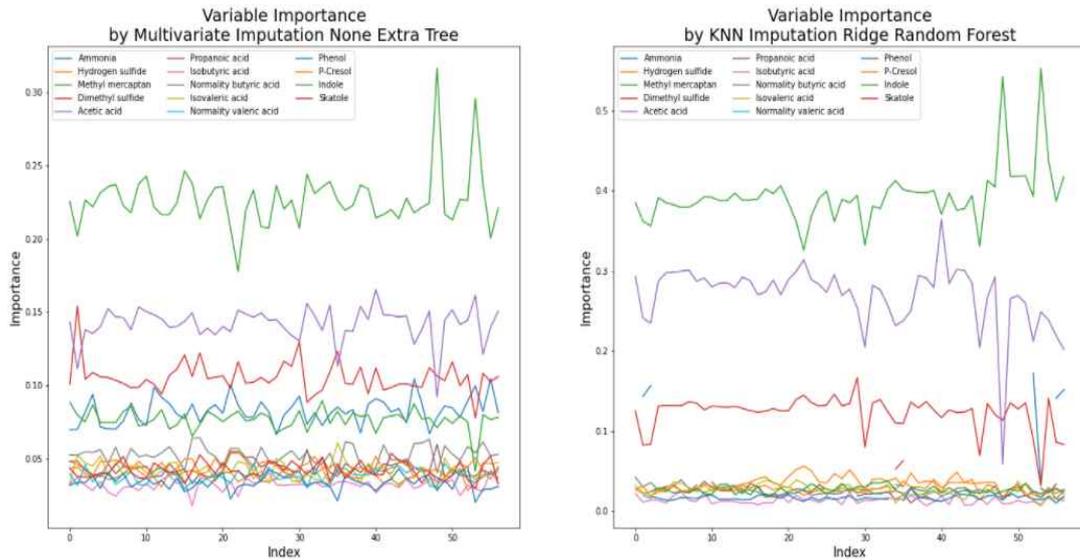
- (1) 평균을 이용한 단순 대체법(Simple imputation by mean)
 - (2) 중앙값을 이용한 단순 대체법 (Simple imputation by median)
 - (3) 베이저안 릿지를 이용한 다변량 대체법 (Multivariate imputation by Bayesian Ridge)
 - (4) 극단 랜덤화 트리를 이용한 다변량 대체법 (Multivariate imputation by Extra Tree)
 - (5) 베이저안 릿지를 이용한 다중 대체법 (Multiple imputation by Bayesian Ridge)
 - (6) 가우시안 프로세스 회귀를 이용한 다중 대체법 (Multiple imputation by Gaussian Process Regression)
 - (7) K-최근접 이웃 대체법 (K-Nearest Neighbor imputation)
- 모형 설계에 사용된 약취물질 변수의 결측값 대체를 위해 7가지 기법을 사용 및 비교한 결과 두 방법이 가장 우수한 것으로 나타남.
- 베이저안 릿지를 이용한 다변량 대체법 (Multivariate imputation bt Bayesian Ridge)
 - K-최근접 이웃 대체법 (K-Nearest Neighbor imputation)
- 결측값 대체된 데이터의 상관관계 결과([그림 38]), 두 기법의 결과에 대해 메틸메르캅탄 변수만 차이가 발생(0.357, 0.535) 나머지 변수의 경우 거의 유사한 결과로 나타남.
- 복합약취와 약취물질의 상관관계 결과 황화수소(-0.02)와 다이메틸설파이드(-0.2)는 음의 상관관계로 두 변수의 값이 증가하면 복합약취는 감소하는 것으로 나타났으며, 다른 변수들은 양의 상관관계로 변수들의 값이 증가하면 복합약취도 증가하는 것으로 나타남.



[그림 38] 결측값 대체된 데이터의 상관관계 히트맵

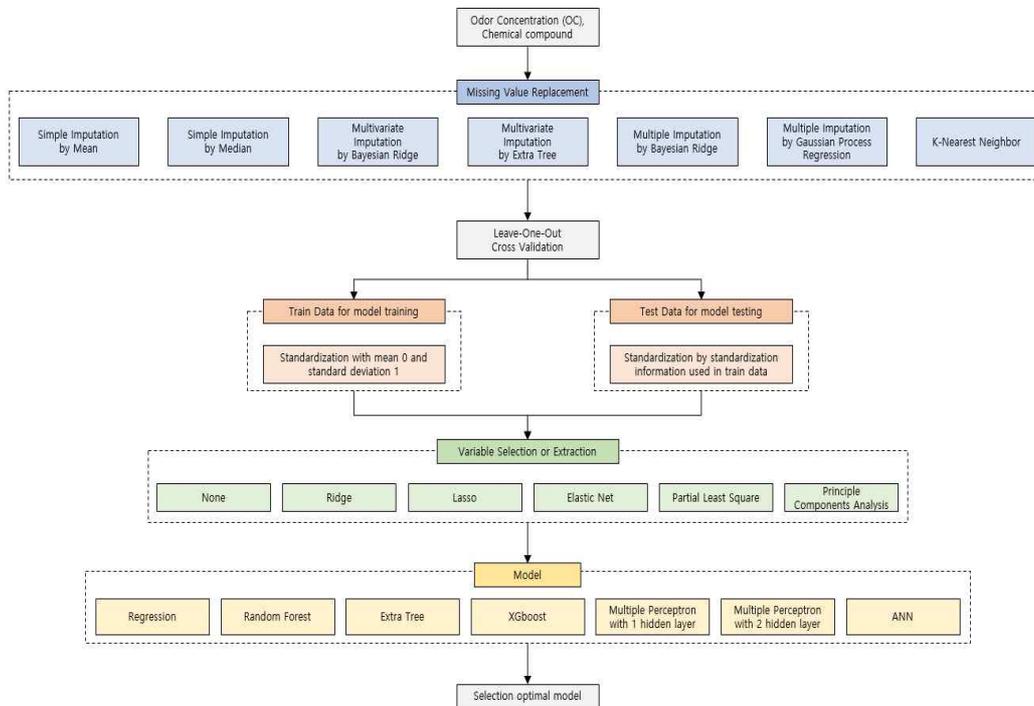
- 복합약취 기여도 평가를 위해 최적의 모형으로 선정된 2개 모형의 변수 중요도를 사용하여 복합약취에 가장 많은 영향을 주는 약취물질을 확인한 결과는 다음과 같음
- 공통으로 메틸메르캅탄이 가장 중요한 변수로 나타났으며, 그다음으로 중요한 변수로는 아세트산, 다이메틸설파이드 순서로 나타남.

- [그림 39] 왼쪽 결과, 위 세 변수에 이어 암모니아와 인돌 변수가 다른 변수들에 비해 중요한 것으로 나타남.
- [그림 39] 오른쪽 결과, 암모니아 변수의 중요도가 다이메틸설파이드 변수와 비슷한 것으로 나타났으나 변수전처리 기법인 릿지(Ridge)에 의해 사용되지 않은 경우가 많은 것으로 나타남.
- 즉, 전체적으로 메틸메르캡탄, 아세트산, 다이메틸설파이드, 암모니아, 인돌 순으로 중요한 변수인 것으로 나타났으며, 다른 변수는 서로 비슷한 수준의 변수 중요도를 갖는 것으로 나타남.



[그림 39] 복합약취에 대한 각 약취물질에 따른 변수 중요도(기여도)

- 센서 데이터 기반 복합약취 예측모형 개발을 위한 설계
 - 복합약취 예측모형 개발을 위해 다양한 기법의 예측모형 생성 후 최적의 예측 모형을 선정.
 - 예측 성능 향상을 위해 결측값이 대체된 데이터에 6가지의 전처리 기법을 사용.
 - 표준화 (변수의 평균을 0, 표준편차를 1로 변환)
 - 변수 선택법(3개) : 릿지(Ridge), 라쏘(Lasso), 엘라스틱 넷(Elastic Net)
 - 변수 추출법(2개) : 부분최소 제곱법(PLS), 주성분 분석(PCA)
 - 최적의 복합약취 예측 모형 선정을 위해 7가지 예측모형 사용.
 - 다중 회귀 (Multiple Regression)
 - 랜덤 포레스트 (Random Forest)
 - 극단 랜덤화 트리 (Extreme Randomized Tree)
 - XGboost
 - 1층 다중 퍼셉트론 (Multiple Perceptron with 1 hidden layer)
 - 2층 다중 퍼셉트론 (Multiple Perceptron with 2 hidden layer)
 - 인공신경망 (Artificial Neural Network)
 - 본 분석에서는 데이터의 수가 적어 모형 검정 기법으로 Leave-One-Out 교차검정(L00CV)을 사용, 모형 선정 기준으로 R^2 값과 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용.



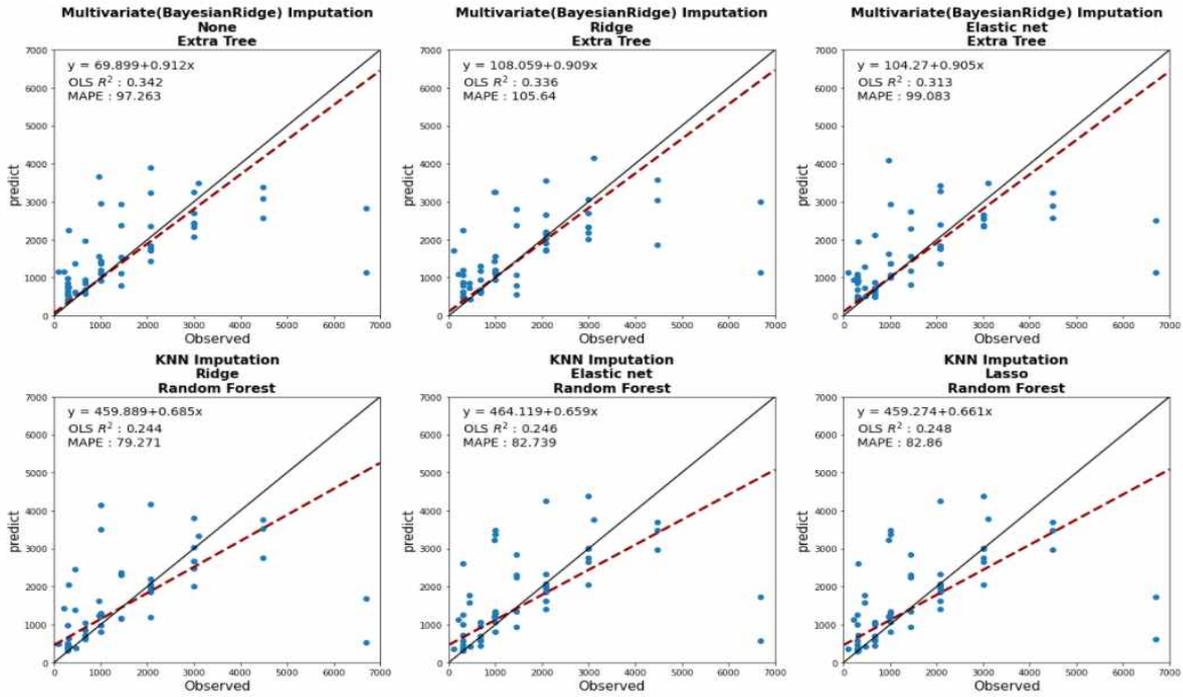
[그림 40] 연구를 위한 분석 흐름도

- 복합약취 예측에 적합한 모형 선정을 위해 변수 전처리 기법 6가지와 예측 모형 7가지의 조합 (총 42)의 결과를 비교.
- 모형 선정 기준으로 예측값과 실제값을 이용해 회귀분석을 실시하여 구해진 R^2 와 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용하였으며, 두 기준에서 가장 우수한 기법 3개씩 총 6가지 기법 선정(표 14).
- 모형 선정 결과 두 기준 내에서 예측 모형 기법은 동일하고, 변수 전처리 기법에만 차이가 있는 것으로 났으며 따라서, 예측 모형으로 가장 적합한 모형은 극단 랜덤화 트리 (Extra Tree)와 랜덤 포레스트 (Random Forest)로 나타남.

[표 14] 결측값 대체 방법 및 변수 전처리 기법에 따른 예측 모형 선정 결과

	결측값 대체	변수 전처리	분석 모델	결과
R^2 기준	베이지안 릿지를 이용한 다변량 대체법	없음	극단 랜덤화 트리 (Extra Tree)	$R^2 = 0.342$
	베이지안 릿지를 이용한 다변량 대체법	릿지 (Ridge)	극단 랜덤화 트리 (Extra Tree)	$R^2 = 0.336$
	베이지안 릿지를 이용한 다변량 대체법	엘라스틱 넷 (Elastic Net)	극단 랜덤화 트리 (Extra Tree)	$R^2 = 0.313$
MAPE 기준	K-최근접 이웃 대체법	릿지 (Ridge)	랜덤 포레스트 (Random Forest)	MAPE = 79.27
	K-최근접 이웃 대체법	엘라스틱 넷 (Elastic Net)	랜덤 포레스트 (Random Forest)	MAPE = 82.74
	K-최근접 이웃 대체법	라쏘 (Lasso)	랜덤 포레스트 (Random Forest)	MAPE = 82.86

- 선정된 예측 모형을 사용한 예측 결과([그림 41]), 6가지 기법 모두 추정된 회귀선(빨간 점선)의 절편값이 0보다 큰 값을 가지므로 예측값(predict)의 평균이 실제값(observed)의 평균보다 높게 예측된 것으로 나타남.
- 모든 그림에서 추정된 회귀선(빨간 점선)과 검은 직선(기울기 1 절편 0)이 교차하는 것으로 나타났으며 이는 교차 전(빨간 점선이 검은 직선보다 위에 있는 경우)에는 실제값보다 예측값이 큰 과대추정(over-estimate)이 발생하며, 교차 후(빨간 점선이 검은 직선보다 아래 있는 경우)에는 실제값보다 예측값이 작은 과소추정(under-estimate)이 발생하는 것으로 나타남.
- 현재 축적된 데이터 개수가 작아 모형을 통한 정확도가 떨어지나 향후 데이터 획득을 통해 모형 개발 및 정확도를 향상시킬 예정임.



[그림 41] 선정된 분석 방법을 사용한 예측 결과 그림

○ 축산 약취 수준에 따른 생산성 비교모형 설계

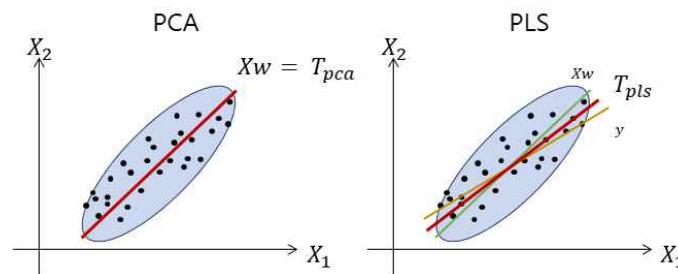
- 약취가 심한 돈사와 심하지 않은 돈사 두 집단의 데이터를 비교.
- 두 집단의 생산성 지표 데이터인 돈사 관리 데이터 기반 일당증체량, 사료 요구율 등의 값을 통계적 기법인 T-검정(T-test)을 활용하여 두 집단의 생산성 비교.

○ 분석에 사용된 기법 설명

- 분석에 있어 데이터의 결측값 문제를 해결하고자 4종류의 결측값 대체 기법을 응용하여 7가지 기법이 사용되었으며, 예측 성능을 높이고자 6가지 변수 전처리 기법과 6가지 예측 모형이 사용됨.
- 예측 모형 평가를 위해 데이터가 적은 경우 사용되는 모형 성능 평가 방법과 2 종류의 평가 기준을 사용함.
- 결측값 대체 기법 소개
 - 단순 대체법(Simple imputation) : 결측값을 대체할 해당 변수 하나만을 사용한 결측값 대체 기법으로 해당 변수의 평균값, 중앙값, 최빈값과 같은 통계적인 값으로 대체.
 - 다변량 대체법(Multivariate imputation) : 단순 대체법의 한 일종이지만, 변수 하나만 고려하는 것이 아닌 결측값을 대체할 변수를 반응변수(Y) 나머지 변수를 설명변수(X)로 두고 모델링하여 결측값을 대체하는 기법.
 - 다중 대체법 (Multiple imputation) : 단순 대체법을 여러 번 수행하여 결합하는 방식으로, 단순 대체법이 가지는 편향 문제, 과소추정 문제를 해결하고자 제시된 기법.
 - K-최근접 이웃 대체법(K-Nearest Neighbor imputation) : 공간적 상관관계를 고려한 기법으로, 결측값으로부터 가장 가까운 N개의 이웃 데이터를 이용하여 결측값을 대체하는 기법.

- 변수 전처리 기법 소개

- 릿지(Ridge) : 목적함수인 잔차 제곱합에 제약식을 주는 기법으로 L2 norm 제약식을 사용.
- 라쏘(Lasso) : 목적함수인 잔차 제곱합에 제약식을 주는 기법으로 L1 norm 제약식을 사용.
- 엘라스틱 넷(Elastic Net) : 목적함수인 잔차 제곱합에 제약식을 주는 기법으로 L2 norm 제약식과 L1 norm 제약식을 같이 사용.
- 주성분 분석(PCA, Principal Components Analysis) : 여러 설명변수의 선형 결합으로 새로운 변수를 생성하는 기법으로 변수의 수가 많거나 다중공선성 문제가 있는 경우 유용.
- 부분최소제곱(PLS, Partial Least Square) : 여러 변수의 선형 결합으로 새로운 변수를 생성하는 기법으로 설명변수만 이용하는 PCA 기법과 달리 반응변수의 정보도 고려하는 기법. PCA와 마찬가지로 변수가 많거나 다중공선성 문제가 있는 경우 유용.



[그림 42] PCA와 PLS와 설명 및 비교

- 예측 모델 기법 소개

- 다중 회귀(Multiple Regression) : 변수가 2개 이상의 경우 사용되는 회귀분석.
- 랜덤 포레스트(Random Forest) : 부트스트랩(Bootstrap)을 사용해 여러 개의 의사결정 나무(Decision Tree)를 생성하고 이를 통해 나온 결과에 앙상블(Ensemble) 기법을 적용해 더 나은 일반화 결과를 도출하는 기법
- 극단 랜덤화 트리(Extra Tree, Extreme Randomized Tree) : Random Forest 기법을 변형시킨 것으로 의사결정 나무의 데이터 분할 과정에 랜덤화를 적용시킨 기법
- XGboost : 부스팅(Boosting)을 사용해 손실함수를 최소화 시키는 기법으로 분산 환경에서 사용 가능
- 다중 퍼셉트론(Multiple Perceptron) : 퍼셉트론(Perceptron)이란 입력값을 적절한 선형함수와 활성화 함수를 이용하여 결과를 도출하는 기법으로, 다층 퍼셉트론(Multi Perceptron)은 이러한 퍼셉트론의 층을 늘린 것으로 즉, 입력값을 받아 결과를 도출하기 전까지 계산 과정을 늘린 기법으로 단순한 퍼셉트론보다 더 나은 결과를 도출할 수 있음
- 인공신경망(ANN, Artificial Neural Network) : ANN은 Multiple Perceptron 기법에 계산 과정에서 필요한 가중치를 업데이트하는 오차역전파(Back propagation) 개념이 더해진 기법

- 모델 검정 기법

- Leave-One-Out Cross Validataion(= LOOCV) : 주로 데이터 개수가 적은 경우 사용하며 n개의 데이터 중 n-1개의 데이터로 모델을 훈련 시킨 후 단 하나의 관측 값만으로 모델의 성능을 평가하는 기법. LOOCV는 총 n개의 모델 성능 평가 결과를 가지며, 이 n개 성능 평가의 평균을 모델의 성능 평가 지표로 사용하며 데이터의 수가 적으로 사용함

- 성능평가 지표

- R^2 : 선형회귀모형의 설명력을 의미하며 0~1 사이의 값을 가지며, 값이 클수록 좋은 결과를 의미
- MAPE(Mean Absolute Percentage Error) : 실제값과 예측값의 상대적 차이 절댓값 평균을 퍼센트로 나타낸 값으로 작을수록 좋은 결과 의미

■ 1단계 2차년도 (2022)

1) 주관연구기관: 한국생명공학연구원

○ 상용화 센서 (NH3, H2S) 표준화 검증

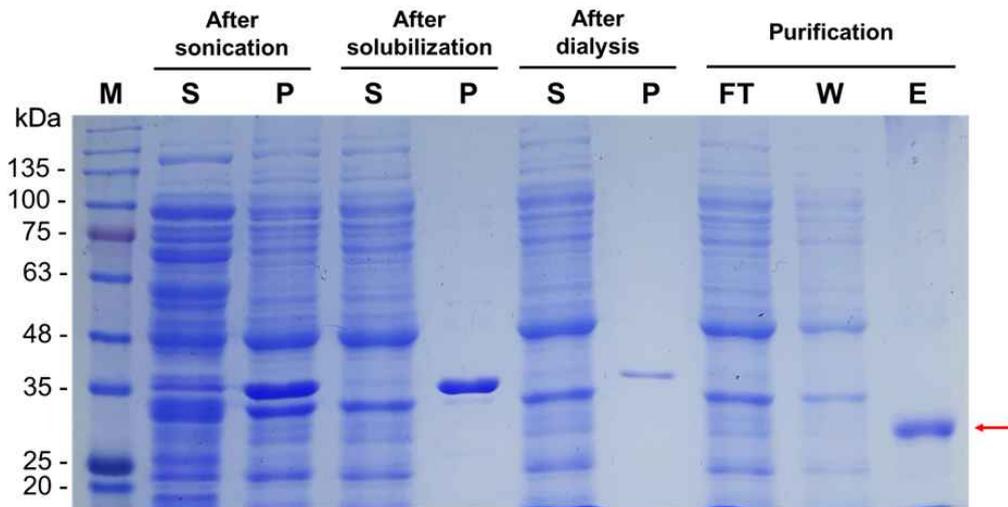
- NH3, H2S 상용화 센서를 표준 샘플을 이용하여 검증 진행함. 측정값과 실제 샘플 농도를 캘러브레이션하여 정확한 가스 농도를 가능하도록 함 (그림 43).



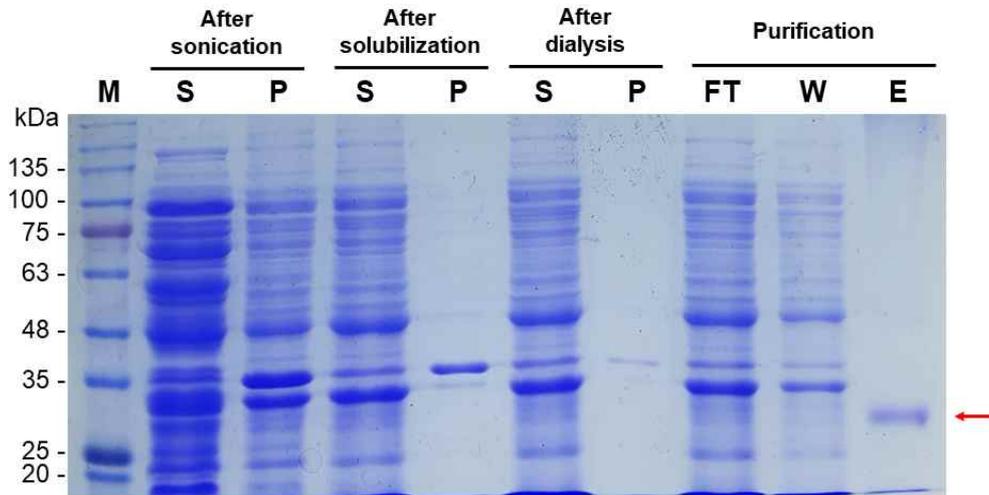
[그림 43] 표준가스를 이용한 정확성 테스트

○ 축산 악취 검출용 바이오 리셉터 제작

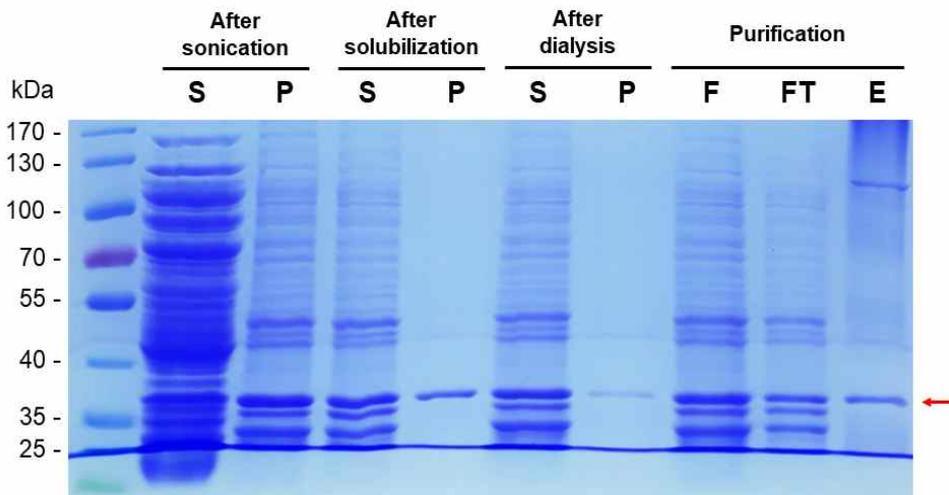
- 축산 악취 선택적 검출을 위한 다양한 유전자 라이브러리 중에서 인돌을 검출하기 위한 리셉터로는 1차년도에 확보한 유전자 (h0R4E2) 이외에 스카톨을 검출하기 위한 유전자 (h0R6Y1), Butyric acid를 검출하기 위한 유전자 (h0R51E1), Isovaleric acid를 검출하기 위한 유전자 (0R51p1)를 확보하고 단백질을 생성한 뒤에 분리·정제된 단백질량을 BCA assay를 통해서 측정하고, lipids를 혼합하여 나노디스크를 제작함 (그림 44-46).



[그림 44] hOR6Y1 (스카톨 리셉터) SDS PAGE 결과



[그림 45] hOR51E1 (Butyric acid 리셉터) SDS PAGE 결과

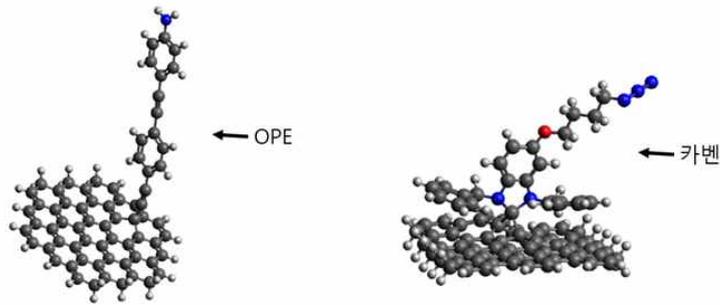


[그림 46] OR51p1 (Isovaleric acid 리셉터) SDS PAGE 결과

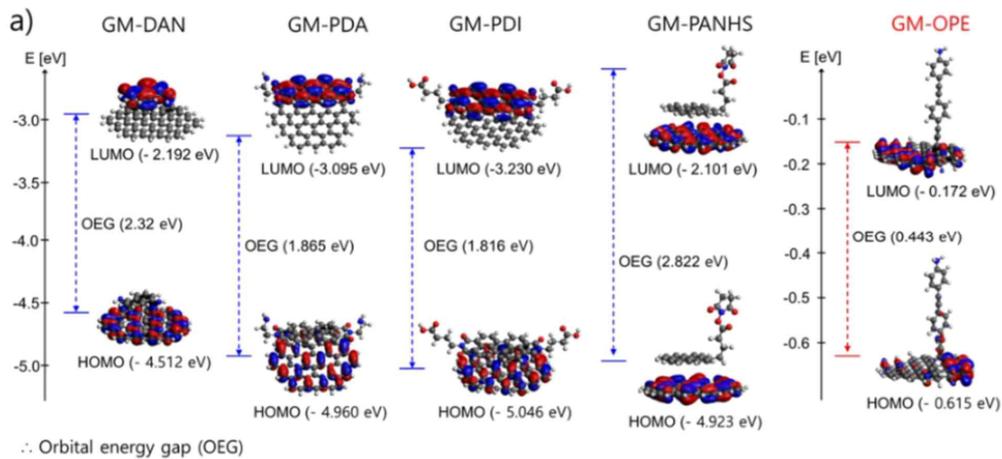
○ 신규 인터페이스 화합물 개발

- 1차년도에서 개발된 PDI를 활용하여 만든 센서로 악취 측정을 한 결과 PDI는 Self

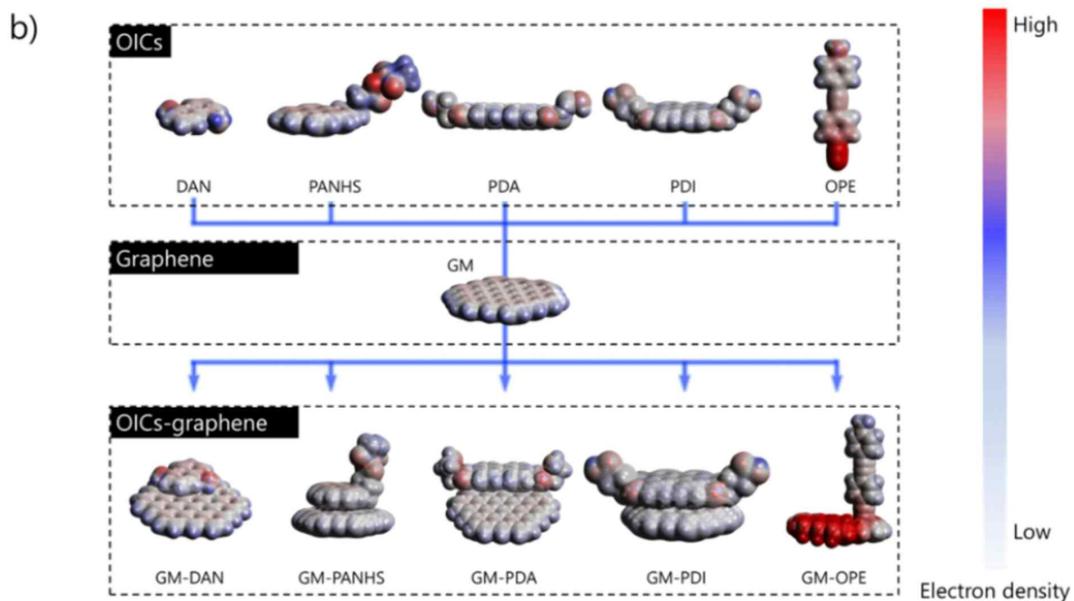
assembly mono-layer를 잘 이루지 못하여 노이즈 발생 및 민감도가 떨어짐. 이를 해결하기 위하여 2차원도에 카벤과 OPE 신규 인터페이싱 화합물을 합성함. OPE의 우수성을 입증하여 센서에 적용하고 국제적인 학술지 *Angewante chemie*에 해당 논문 게재함(그림 47-49).



[그림 47] 신규 인터페이싱 화합물 (좌: OPE, 우: 카벤)



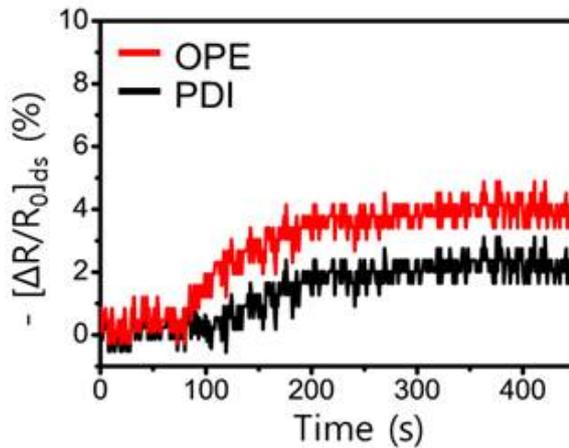
[그림 48] HOMO와 LUMO의 3차원 구조와 궤도 에너지 갭



[그림 49] 전자밀도함수를 활용한 인터페이싱 화합물의 전자이동도 계산

(본 과제를 통하여 개발된 기술로 국제적인 학술지 Angewandte chemie에 실림 IF:16.823)

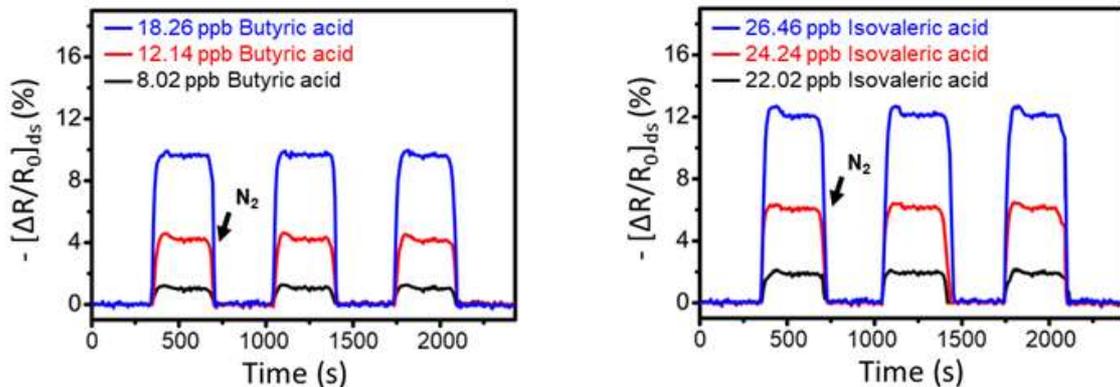
- 해당 인터페이싱 화합물 관련 기술을 활용하여 기업에 기술실시를 하여 과제 성과를 달성함. 센서 플랫폼의 성능 고도화를 위해 신규 표면 개질화 물질 (OPE)을 개발하였으며 이는 그래핀 트랜지스터의 표면에 SAM (Self-assembled monolayer)를 형성하여 상대적으로 동일 면적 대비 많은 양의 바이오 탐침 고정화가 가능함. 또한 표면의 비어 있는 그래핀 면적이 없이 모두 고정화 되어 있어 노이즈 대비 신호가 향상되어 신호가 더욱 안정함(그림 50). 이러한 개발 성과를 활용하여 노하우 기술실시를 진행함.



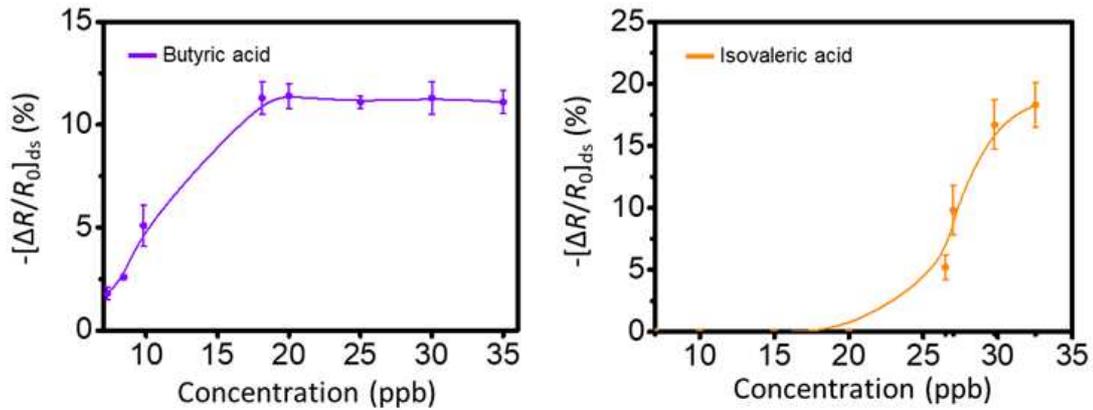
[그림 50] 인터페이싱 화합물에 따른 성능 차이 (인돌 가스)

○ 축산 냄새 (Butyric acid, iso-valeric acid) 검출

- Butyric acid, iso-valeric acid 액상 시료를 기화하여 배출된 가스의 농도를 계산하여 비활성 가스와 함께 MFC를 통해 방출하여 센서 소자의 유효성 테스트를 진행하였음. 그 결과, 낮은 농도 (Butyric acid: 8.02 ppb, Isovaleric acid: 22.06 ppb)에서 전기적 신호 변화를 감지하였음 (그림 51).



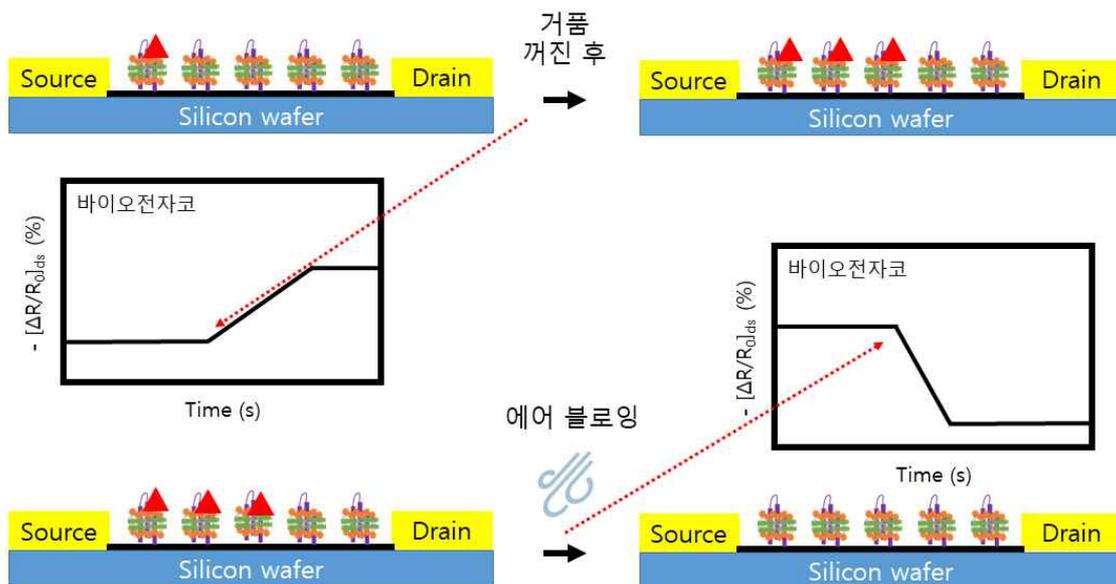
[그림 51] 소형화 소자 Butyric acid 및 Isovaleric acid 표준 시료 기상 검출 결과 (좌: Butyric acid, 우: Isovaleric acid)



[그림 52] Butyric acid 농도 곡선 (좌), Isovaleric acid 농도 곡선 (우)

○ 바이오전자코 약취 검출 매커니즘

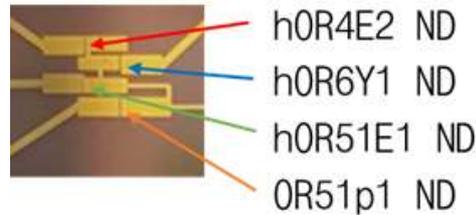
- MEMS 기술을 사용해 제작한 소형 소자에 검출하고자 하는 타겟이 존재하고 반응하게 되면 저항이 증가하고 이를 통하여 타겟 검출이 가능함. 약취 저감 기술을 적용하게 되면 저감 효과를 나타내는 시간 동안에는 더 이상의 전기적 신호 변화가 없다가 일정 시간이 지나 저감 효과가 줄어들면 다시 검출기와 반응하기 시작함. 소자에 고정화된 바이오리셉터의 개수는 정해져 있기에 일정 수준 이상의 타겟과 반응하면 에어 블로잉을 통하여 흡착된 타겟 분자를 제거 가능함 (그림 53).



[그림 53] 바이오전자코 약취 검출 매커니즘

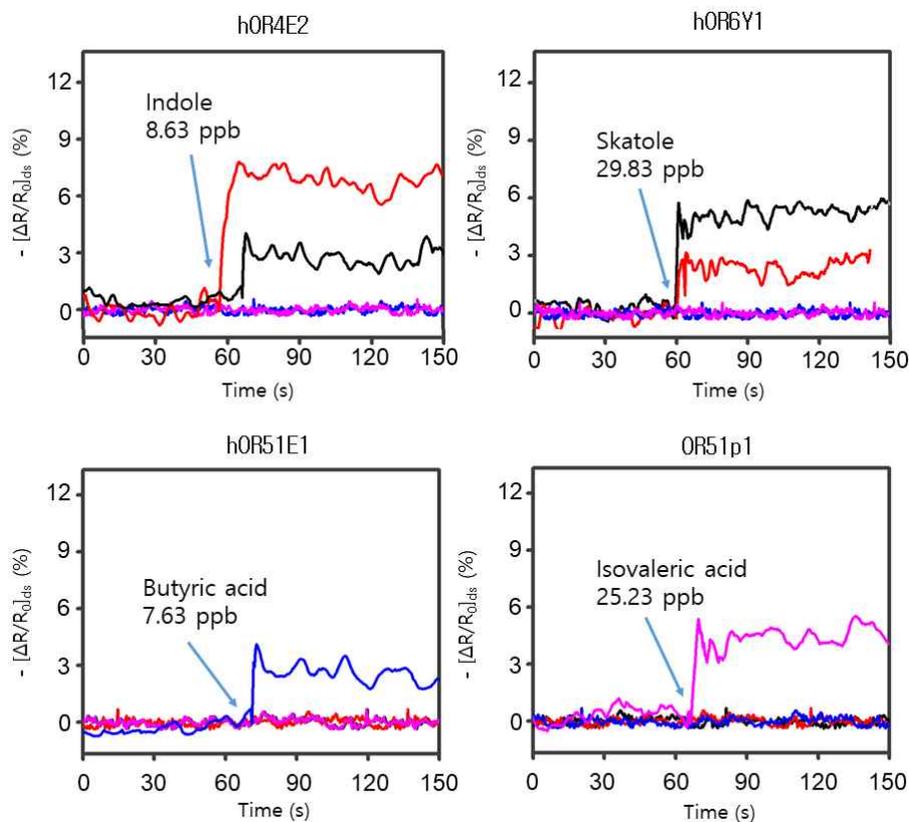
○ 바이오전자코(4종) 소형화 소자 개발

- 인돌류 (인돌, 스키톨), 지방산 (Butyric acid, Isovaleric acid) 을 측정할 수 있는 소형화 소자 개발 완료함. 실험실 단계에서 실험을 거쳐 다음 단계에서는 복합 악취 검출기에 통합할 예정임 (그림 54).



[그림 54] 4채널 소형화 소자 사진

- 디자인된 4채널 소형화 소자는 대량 생산을 위하여 서울대 반도체공동연구소에서 MEMS 장비(Spincoator, Aligner, Etcher, E-beam evaporator, Dicing saw)를 사용하여 생산함 (그림 55).

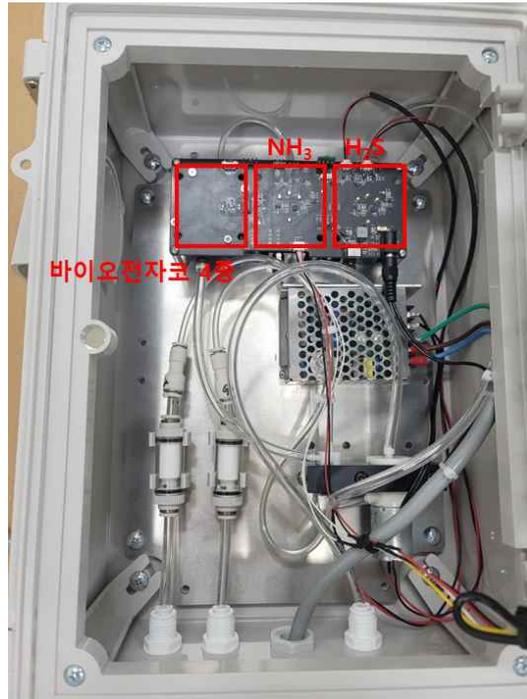


[그림 55] 4채널 소형화 소자 선택성 테스트 (인돌(빨강), 스카톨(검정) butyric acid(파랑), isovaleric acid(분홍))

- 4채널 소형화 소자의 선택성 실험을 진행하기 위하여 각각 가스 샘플에 대한 반응성을 봄. 인돌 (8.63 ppb), 스카톨 (29.83 ppb), Butyric acid (7.63 ppb), Isovaleric acid (25.23 ppb)은 각각 hOR4E2, hOR6Y1, hOR51E1, OR51p1과 반응성을 보임.

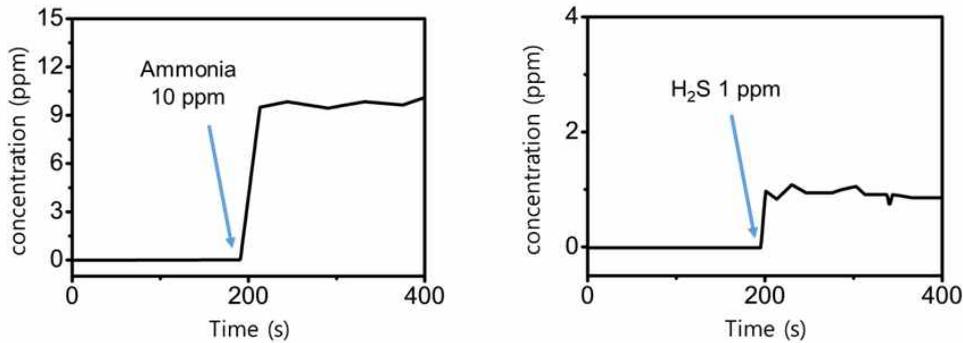
○ 양돈/양계 농가 복합 악취 검출기 실증

- 암모니아, 황화수소, 인돌류 (인돌, 스캐톨)를 통합한 복합 악취 검출기를 개발하여 양돈 농가 실증을 진행함. 검출기의 수명을 늘리기 위하여 본체를 돈사 및 계사 밖에 설치하고 노즐을 통하여 강제흡입식으로 측정함. 노즐에는 필터가 달려있어 측정에 영향을 줄 수 있는 습기를 제거해줌 (그림 56).

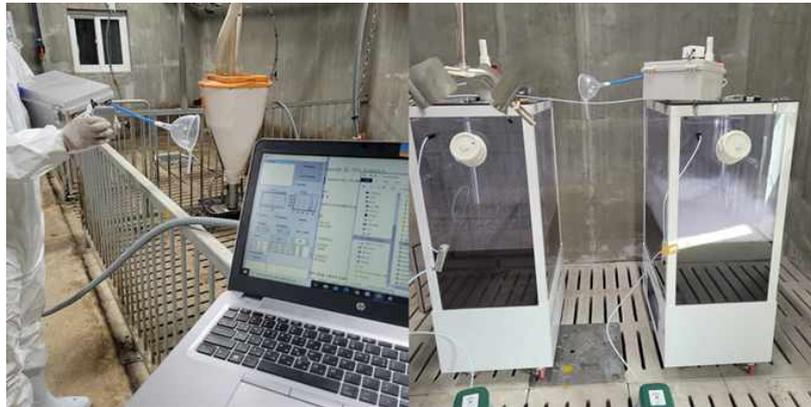


[그림 56] 복합 악취 검출기 모습

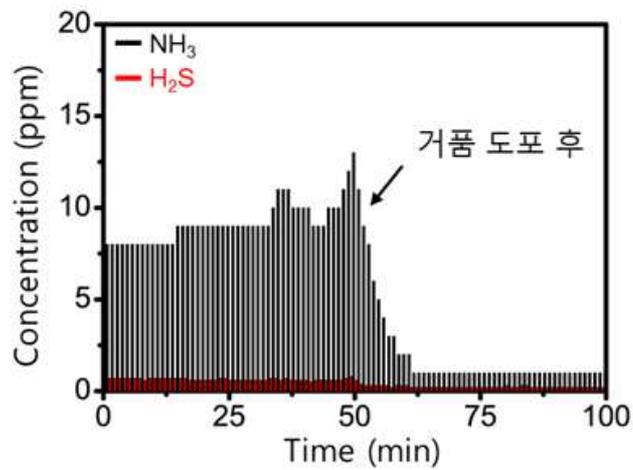
- 제작된 복합 악취 검출기의 성능 검증을 진행함. 암모니아 (10 ppm)와 황화수소 (1 ppm)의 경우 구입한 스탠다드 가스 샘플을 사용하였고 인돌 (8.63 ppb), 스카톨 (29.83 ppb), butyric acid (7.63 ppb), isovaleric acid (25.23 ppb)의 경우 기화시킨 가스 샘플을 사용하였다.



- 시작품의 성능 검증을 위하여 국립축산과학원 test-bed에서 센서 실증을 진행함. 군산대 측에서 제작한 악취 저감 시스템인 거품도포기를 적용한 후 악취 측정을 진행하여 거품 도포의 효과를 검증함. 돈분장과 슬러리챔버로 나누어 성상별 효과를 측정함 (그림 57,58).



[그림 57] 돈분장 측정 모습(좌), 슬러리 내 거품 도포 전후 모습(우)



[그림 58] 거품 도포 전후 암모니아, 황화수소 데이터

○ 약취 저감을 위한 여러 기술 논의

- 약취 저감을 위한 여러 기술을 스마트팜 사업단 측으로부터 전달받아 해당 기술 적용을 관련 논의를 위한 미팅을 진행함 (그림 59-61).



[그림 59] (주)태고 액비 제조 및 순환 시스템 관련 미팅



[그림 60] (주)마테크 제품 마스타나 관련 미팅



[그림 61] (주)부강테크 제품 오딘 관련 미팅

- 위 기술들을 보유한 기관들과 협의한 결과, 비용이나 기술적인 면에서 과제에 적합한 기술로 (주)부강테크의 오딘 기술을 선정하고 현장 적용 및 실증을 위한 논의를 진행하고 익산 성지농장에 기술을 적용함(그림 62).



[그림 62] (주)부강테크와의 기술 적용 미팅

○ 과제 논의를 위한 워크숍 진행

- 국립축산과학원과 (주)이엔티가 위치한 전주에서 '2차년도 성과 발표 및 1단계 목표 달성검토를 위한 워크숍'을 진행함. 주관 및 공동기관 전부 참여하여 진행하였으며 각 기관들이 진행 중인 연구를 소개하고 문제점들을 토의함 (그림 63).

한양 맞춤 저농량 축산 (양돈, 양계) 분쇄 체어 기술 과제 워크숍 개최 계획안

□ 추진 배경 및 목적

- 2022년도 정부 발표 및 1단계 주요 달성 목표를 위한 워크숍
- 현장, 근거리 방문, 분쇄, 분진, 분, 송사, 요인별(양돈, 양계) 분쇄 체어 기술(근거리) 도입, 기술, 시연, 기술 지원 등

□ 개요

- 연차명 : 한양 맞춤 저농량 축산 (양돈, 양계) 분쇄 체어 기술 과제 워크숍
- 일 시 : 2022년 5월 30일 ~ 31일 (월~화/ 1박 2일)
- 장 소 : (양돈) 제주특별자치도 농업기술원
- 참석자 : 내국 연구원 및 과제 참여기관 인력 (국립축산과학원, 호남대학교, 충북대학교, ㈜이앤디, ㈜에가스)

□ 세부 일련사항

○ 1일차 : 22. 05. 30(목), 12:00~20:00

시간	주요내용	주최
12:00~13:00	식별	국립축산과학원
13:00~13:30	·축산기무사업현황 ·축산기무사업의 필요성	국립축산과학원
13:30~14:00	·양돈 분쇄 체어 기술 소개 ·양계 분쇄 체어 기술 소개	국립축산과학원
14:00~14:30	·양돈 분쇄 체어 기술 소개 ·양계 분쇄 체어 기술 소개	국립축산과학원
14:30~15:00	·양돈 분쇄 체어 기술 소개 ·양계 분쇄 체어 기술 소개	국립축산과학원



[그림 63] 과제 워크숍 개최안 및 현장 사진 (2022.05.30.)

○ Test-bed 약취 측정 진행 (제주 난지축산연구소)

- 부지 경계의 약취 측정을 진행하여 돈사와는 다른 환경의 약취 측정 데이터를 수집하기 위하여 제주에 위치한 난지축산연구소를 방문하여 돈사 내부와 부지 경계의 데이터를 측정함. 장소 및 환경에 따른 측정을 가능하게 하기 위해서 기존의 복합 약취 검출기 보다 사이즈가 작은 소형 복합 약취 검출기를 제작함. 우측 사진에는 각 타겟 검출 센서 위치에 표시 되어 있음 (그림 64).



[그림 64] 제주 난지축산연구소 부지 경계 실증(좌), 돈방(중), 소형 복합 약취 검출기(우)

○ 양돈 농장 현장 실증 진행 (성지 농장)

- 익산에 위치한 성지 농장에서 현장 실증을 진행함. 타 돈방으로부터 멀리 떨어진 돈방을 선정하여 외부 영향을 최소화하여 실증 진행함. 거품 도포 데이터의 전후를 비교하기 위하여 거품을 도포해 본 결과, 도포가 적합하지 않은 환경으로 판단되어 해당 농가에서는 (주)부강테크의 오딘 제품을 적용함. 돈사 외부 환기 통로에 위치한 바이오커튼에 오딘을 도포하여 약취 저감을 진행함 (그림 65,66).



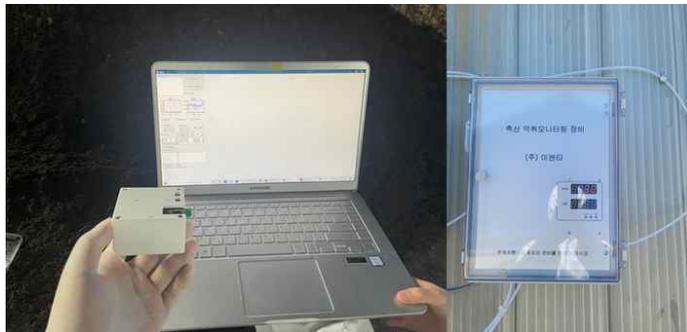
[그림 65] 성지 농장 현장 실증 사진



[그림 66] 오딘 적용 바이오 커튼

○ 양돈 농장 현장 실증 진행 (누리 농장)

- 완주에 위치한 누리 농장에서 현장 실증을 진행함. 다양한 측정 결과를 위하여 실증 위치는 돈사 옆에 위치한 돈분장으로 선정했으며 돈분장 옆 슬러리 수조에서 악취 영향이 있을 수 있어 비닐을 이용하여 공간 분리를 시킴. 복합 악취 검출기와 소형 인돌 검출기 동시적으로 측정하면서 데이터를 비교해 봄. 거품 도포 데이터의 전후를 비교하기 위하여 거품을 도포를 진행함 (그림 67).



[그림 67] 누리 농장 실증 모습 (좌: 소형 인돌 검출기, 우: 복합 악취 검출기)

- 사업단에서 해당 기술들을 보기 위하여 현장 방문함 (누리농장). 악취 모니터링 및 저감 시스템의 매커니즘 및 현장 실증 모습 시연함. 주관 및 공동 기관 책임자가 참여하였으며

현장에는 사업단 (최하나 팀장, 이현준 연구원) 측이 참여함 (그림 68).



[그림 68] 스마트팜 사업단 현장 실증 시연 모습 (2022.09.23.)

○ 양계 농장 현장 실증 진행 (주덕 농장)

- 충주에 위치한 주덕 농장에서 양계 농장 악취에 대한 현장 실증을 진행함. 계사 내부의 닭 출하 직후였으며 유의미한 악취 검출을 하기 위하여 농장주에게 요청하여 깃털, 오물 등의 청소 이전에 실증 진행함. 계사는 다음 단계에서 더 본격적으로 실증 진행하려함 (그림 69).



[그림 69] 양계 농장 현장 실증 모습 (2022.10~)

○ 스마트센서코리아 부스 운영

- 7월 6일부터 8일까지 일산 킨텍스에서 열린 스마트센서코리아에서 부스를 설치하여 운영함. 복합 악취 검출기, 거품 살포기, 오딘 등 본 과제에서 제작 및 사용된 시스템 및 기술을 여러 참여 업체 및 참가자에게 홍보함 (그림 70).



[그림 70] 스마트센서코리아 참가 모습

○ 축산(양돈) 현장 스마트 시스템 운영

- 성지 농장과 누리 농장에서 악취 모니터링 시스템과 저감 기술 (성지 농장: 바이오커튼,

누리 농장: 거품 살포기)을 결합한 스마트 시스템을 운영함. 본 과제 적용의 결과에 대한 농장주 및 이웃 주민의 의견을 들어보기 위한 설문을 진행함. 농장주 및 주민들이 느끼기에 약취 저감이 효과적으로 되었음을 확인 (그림 71,72).



[그림 71] 작성된 설문지 및 사진 자료



[그림 72] 민원 발생 지역의 설문 조사 진행

- 농장주 및 주변 이웃주민에게 현장 실증에 따른 만족도 설문 조사를 진행한 결과 약취로 인한 민원 감소 50% 이상, 약취 감소에 따른 돼지의 폐사율 감소 (10두수 > 2두수) 및 생산성 향상 (50% 이상)으로 큰 효과를 볼 수 있었고 해당 기술의 지속적인 적용 의사를 보임 (그림 73).



[그림 73] 약취 민원으로 인해 설치된 플랜카드(좌: 기술실증 이전), 약취 저감 기술 도입 후(우: 기술실증 이후)

○ 실증 농가 선정을 위한 MOU 체결

- 칠곡군농업기술센터와 MOU를 체결하여 약취 모니터링 시스템 및 저감 기술 적용이 필요한 농가를 소개받고 실증을 진행하기로 논의함 (그림 74).



[그림 74] 칠곡군농업기술센터 업무협약서(좌: 보도자료, 우: 협약서)

○ 한국생명공학연구원 유튜브 채널 출연

- 한국생명공학연구원 유튜브 채널 내 생생실험실에 출연하여 과제를 통하여 제작된 센서를 시연하고 약취 모니터링 기술에 대한 홍보를 진행함 (그림 75).



[그림 75] 축산 약취 모니터링 기술 홍보 영상

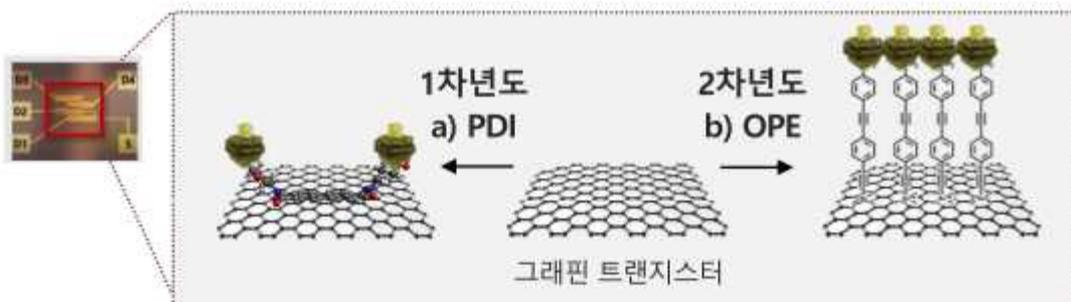
○ 부패 약취 센서 보도자료

- 부패 약취 센서 제작에 관한 보도자료가 나옴. 해당 기술은 본 과제에서 나온 인터페이싱 화합물 (OPE) 합성 및 표면처리 노하우를 통하여 개발된 센서임(그림 76,77).



[그림 76] 부패 약취 센서 보도자료 (2022.11.03.)

- 바이오센서



[그림 77] 인터페이싱 화합물 PDI, OPE 비교 예시

2) 제 1 공동연구기관: (주)이엔티

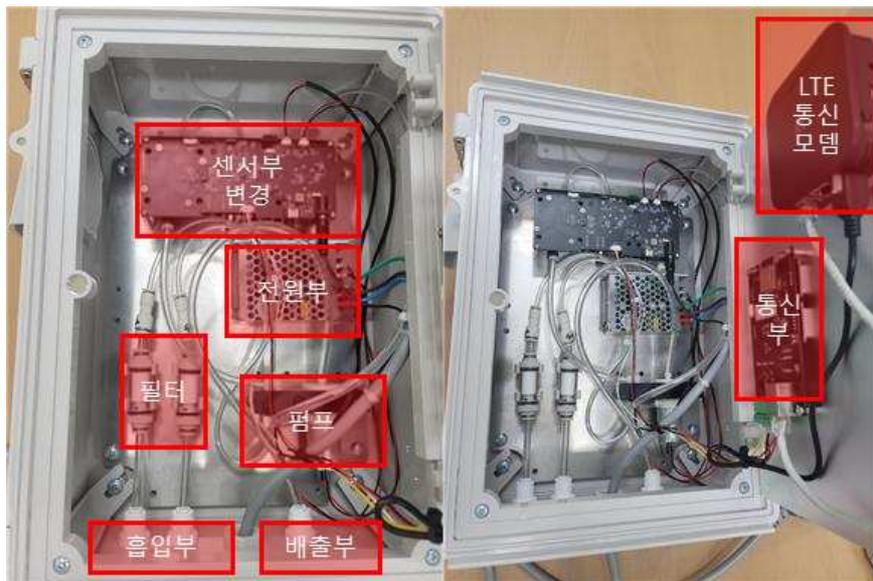
○ 이엔티 수행 : 정성적 연구개발 성과

- 암모니아 센서와 황화수소 센서가 결합된 악취 측정기 개발
- 웹소켓 프로토콜로 양방향 통신이 가능한 악취 측정기 펌웨어 개발



[그림 78] 황화수소(좌), 암모니아(중), 인돌센서(우)를 장착한 센서보드

- 각각의 센서마다 따로 설치되던 센서 보드를 3가지의 센서를 하나의 보드에 장착할 수 있도록 제작하여 설치하였음



[그림 79] 센서부 변경 후 저장장치의 내부모습

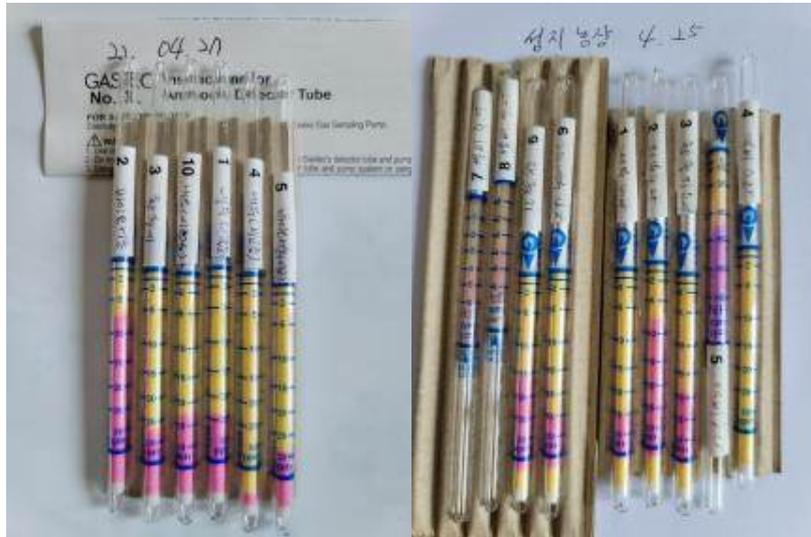


[그림 80] 측정장치의 설치 예

- LTE통신부의 경우 여러 대를 설치했을 경우 공동으로 사용할 수 있도록 LTE라우터를 별도 설치할 수 있도록 제작
- 센서의 정확도 판단 및 보정을 위해 표준사를 활용하여 실질적인 테스트를 진행하였으며, 교차테스트를 통해 오차범위를 줄이고 정확도를 높이는 작업을 실시하였음. 측정장치의 데이터 정확도 확인을 위해 검지관을 사용한 교차 테스트를 진행하여 데이터의 정확도를 확인. 측정은 전북 익산 및 완주군에 소재한 농가에서 진행하였으며 황화수소, 암모니아 수치를 테스트함.



[그림 81] 검지관을 이용한 교차 테스트 (누리농장)



[그림 82] 검지관을 이용한 교차테스트 (성지농장)

- 측정기와 관제시스템에 요구되는 데이터베이스 스키마 개발
- 웹소켓 서버와 Rest API 웹 서버 개발
- 사용자 GUI를 가지는 웹 클라이언트 프로그램 개발

• 로그인 화면



[그림 83] 로그인 화면

- 승인받은 아이디와 패스워드를 입력하면 초기화면인 대시보드화면으로 이동한다. 만일 회원가입이 되어 있지 않다면, 회원가입 절차를 따른다

KoSFarm

아이디

이메일

이름

핸드폰

근무부서

직책

[그림 84] 사용자 등록

회원가입은 위의의 사항을 기입하여, 관리자에게 연락하면 승인 후 가입 완료처리가된다.

- 사용자 등록 과정

- 1) user - 사용자 가입. 또는 관리자가 사용자 관리 페이지에서 사용자 추가
- 2) server - 관리자에게 승인요청 메일 전송
- 3) admin - 관리자 페이지에서 승인 : 승인시 행정구역과 사용자 권한 설정 후 저장

KoSFarm

관리자 | 환경맞춤 지능형 축산(양돈, 양계) 임대 제어 기술

내정보 | 알림

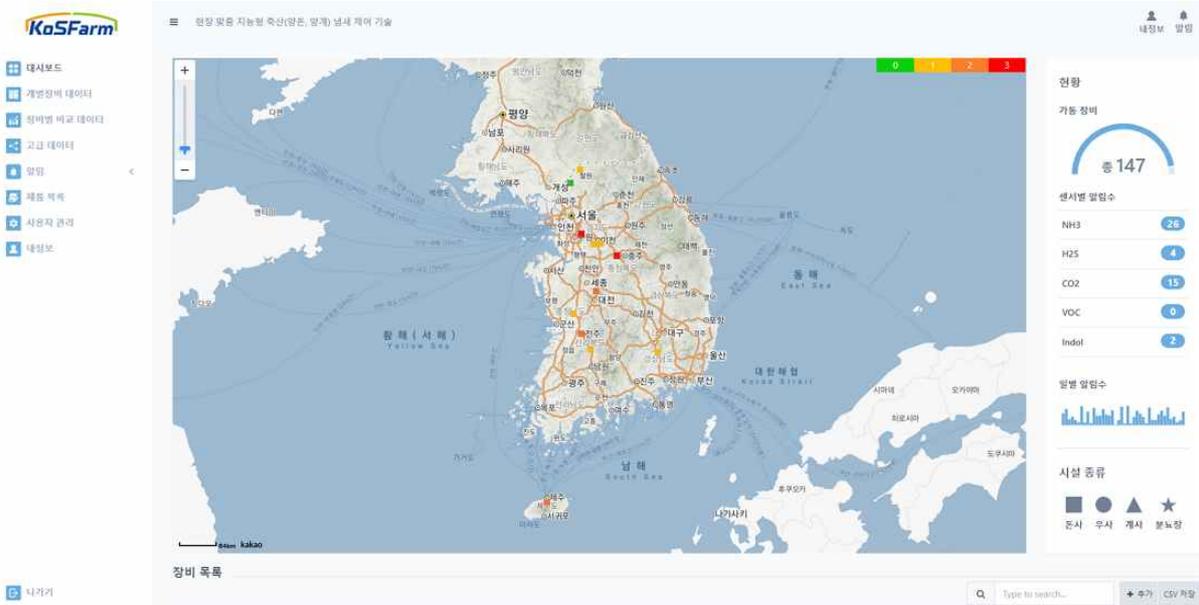
대시보드
계정관리 대시보드
관리별 계교 대시보드
고급 대시보드
알림
채널 관리
사용자 관리
내정보

사용자 수정

사용자 계정	u000
사용자 이름	이명희1
행정구역	한국 전국
소속	이명희1
직책	연구소장
이메일	imert.dev@gmail.com
휴대전화번호	+8232263321
권한	admin

[그림 85] 사용자 승인

- 4) server - 등록된 사용자 메일로 임시 패스워드와 로그인 정보 전송
- 5) user - 로그인 후 패스워드 변경 가능
- 6) 가입된 사용자는 지역, 소속에 따른 권한에 따라 해당 장치에 대한 정보 열람만 가능함

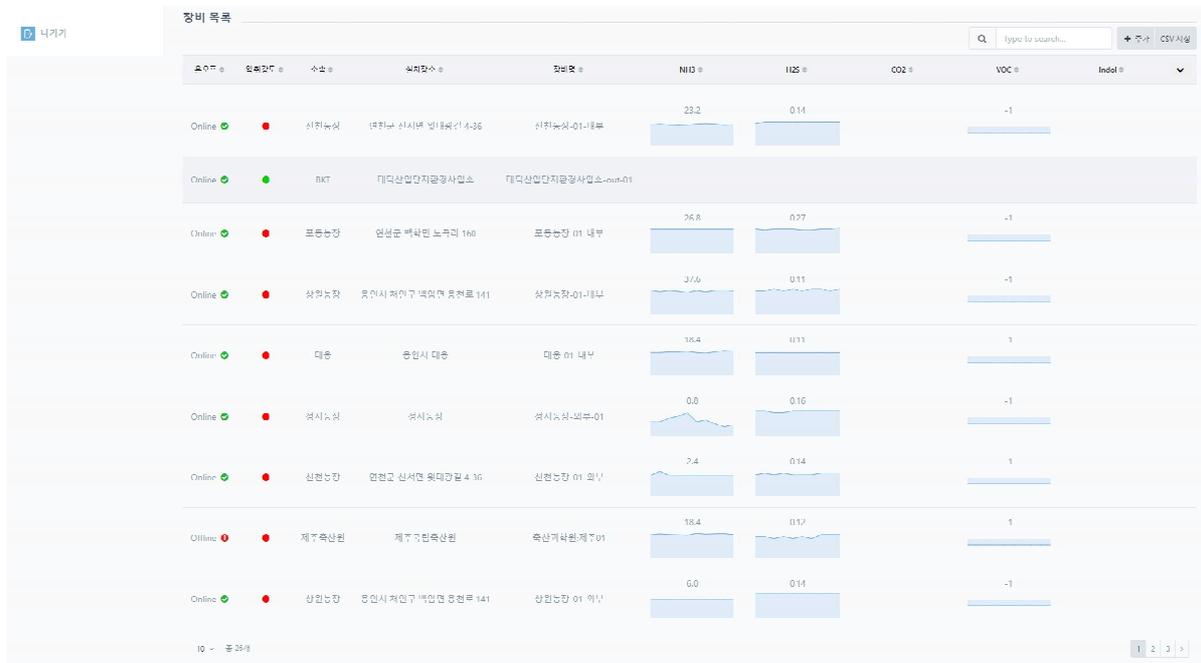


[그림 86] 클라이언트 프로그램 대시보드

- 데이터베이스와 각각의 측정기기 및 데이터베이스와 연동하여 기기의 상태 및 주요 데이터를 표시함

[표 15] 각 표시 항목별 내용

로고	클릭하면 홈으로 이동
대시보드	작은지도와 에러 등의 현황, 장비 목록, 장비 등록/수정/삭제
개별장비 데이터	하나의 장비의 측정된 값들
장비별 비교 데이터	2개 이상의 장비의 측정값 비교
고급	보다 복잡한 쿼리에 대한 데이터
알림	
내역	발생한 알림 내역
설정	기준 센서와 기준값 설정
수신자관리	알림을 받는 사용자 관리
제품	제품 등록/수정/삭제
사용자관리	일반/관리자/수퍼관리자 3등급
내정보	
나가기	잠금 화면으로 이동

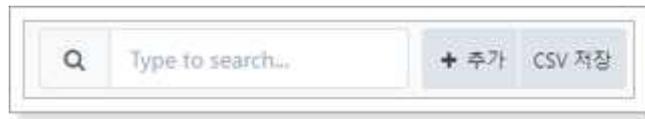


[그림 87] 클라이언트 프로그램(장비리스트)

- 온오프: 장비의 온라인/오프라인 상태 알림
- 악취강도: 악취강도를 나타냄
- 소속: 장비가 소속된 회사명, 또는 농장명. 사용자 정보의 소속과 같아야한다. 일반 사용자의 경우 사용자 소속과 장비 소속이 같은 장비만 살펴볼 수 있다(권한).
- 설치장소: 주소나 농장에서 설치된 세부 위치.
- 장비명: 설치한 장비의 이름.
- NH3 : 암모니아 농도. 최근 10개의 데이터를 보여줌.
- H2S : 황화수소 농도. 최근 10개의 데이터를 보여줌.
- CO2 : 이산화탄소 농도. 최근 10개의 데이터를 보여줌.
- VOC : VOC 농도. 최근 10개의 데이터를 보여줌.

- 사용자권한에 따라 등록된 장비가 전부 혹은 일부나오며, 장비를 따로 등록하지 않는 한 자동으로 등록되지는 않는다.
- 장비는 5초에 한번씩 데이터를 서버로 전송하기 때문에, 만일 최근 5초내에 데이터가 오지 않은 장비는 2번의 데이터 손실시 오프라인으로 설정한다. 연결이 재개된다면 다시 온라인으로 상태를 바꾼다.

- 특정 장비이름을 검색하거나, 특정 설치장소를 찾고자할 때 텍스트를 입력하여 검색할 수 있다.
- 추가 버튼을 클릭하면 장비를 추가(등록)할 수 있다.
- csv 저장 버튼을 클릭하면 장비 리스트를 csv 파일로 저장할 수 있다.
- 장비 리스트 테이블의 모든 필드는 정렬기능을 가지고 있다. 필드명 옆에 위아래 화살표를 클릭하여 정렬할 수 있다



- 특정 장비이름을 검색하거나, 특정 설치장소를 찾고자할 때 텍스트를 입력하여 검색할 수 있다.
- 추가 버튼을 클릭하면 장비를 추가(등록)할 수 있다.
- csv 저장 버튼을 클릭하면 장비 리스트를 csv 파일로 저장할 수 있다.



장비 등록

제품id

장비id

제작사

장비명

맥어드레스

소속

[그림 88] 장비등록

- 장비의 추가

- 장비 등록을 하기 위해 가장 첫번째로 선택해야하는 항목은 제품명이다. 주원전자 장비(포집기)를 선택하기 위해서는 product-jw-01을 선택하거나, 뒤에서 설명하는 제품장에서 제품 등록을 따로하거나, 이미 추가되어 있는 제품명을 변경할 수 있다. 지금은 이엔티 장비와 주원전자 장비만 등록 가능하다. 추후 타회사의 장비를 등록하기 위해서는 타 회사의 속성 테이블을 데이터베이스에 등록하고 이에 맞게 UI도 추후 변경하여 개발 되어야 한다.
- 만일, 여러 회사들의 측정 장비가 추가될 수 있도록 UI를 만든다고 하면, 설계부터 사용자가 제품속성과 장비속성을 구분하여 정의하는 기능, 이를 저장하는 기능, 저장된 기능대로 불러 쓰는 기능들이 추가 개발이 필요하다.

- 장비 등록 항목

[표 16] 장비등록 항목별 설명

속성명	영어명	예시	형	설명
-----	-----	----	---	----

공통사항				
고유식별자	id	device-id-01	string	장비 식별정보로 고유값. 맥어드레스를 써도 무방함
제품id	productId	product-id-01	string	장비가 속한 제품군의 제품id
장비명	name	장비-01	string	장비명
맥어드레스	macaddr		string	Mac Address
소속	depart	성장농장	string	일반사용자(농장주)의 경우에는 사용자의 소속(회사 또는 농장명)과 같아야함
설치장소	addr		string	예)주원농장 축사1 내부 등과 같이 설치시 직접 입력
행정코드	geocode		number	가평군과 같이 지자체 226개와 광역시, 전국 등 242개에 대한 코드값
위도	lati		string	설치된 위치의 위도값(네이버 지도 기준)
경도	longi		string	설치된 위치의 경도값(네이버 지도 기준)
버전	firmware		string	펌웨어 버전
서버IP	serverip	175.208.89.113	string	접속할 서버의 ip address나 domain name이 들어간다(펌웨어업데이트필요확인)
서버Port	serverport	7000	string	접속할 서버의 포트
메모	memo		string	특이 사항이 있을시 기록함
제어대상	control	NA	string	연계되는 제어장비 - 없으면 비워두면 됨
상태	status	on/off	string	관제시스템에 ON/OFF 상태(전원이 안되든, 통신이 안되든)
센서상태	nh3_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	h2s_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	odor_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	voc_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	indol_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	temper_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	humi_status	on/off	string	센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	sensor1_status	on/off	string	여분의 센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	sensor2_status	on/off	string	여분의 센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
센서상태	sensor3_status	on/off	string	여분의 센서 ON/OFF 상태값 리턴(센서 이상인 경우 OFF로)
주원전자특성				서버 포트
측정주기	meacycle	5 sec	string	측정하는 구간에서의 측정 주기
NH3				암모니아 mV에서 ppm 보정수식 선택
A				nh3 보정식의 상수 A 값, 기본값 0
B				nh3 보정식의 상수 B 값, 기본값 0
C				nh3 보정식의 상수 C 값, 해당없으면 0
H2S				황화수소 mV에서 ppm 보정수식 선택
A				h2s 보정식의 상수 A 값, 기본값 0
B				h2s 보정식의 상수 B 값, 기본값 0
C				h2s 보정식의 상수 C 값, 해당없으면 0

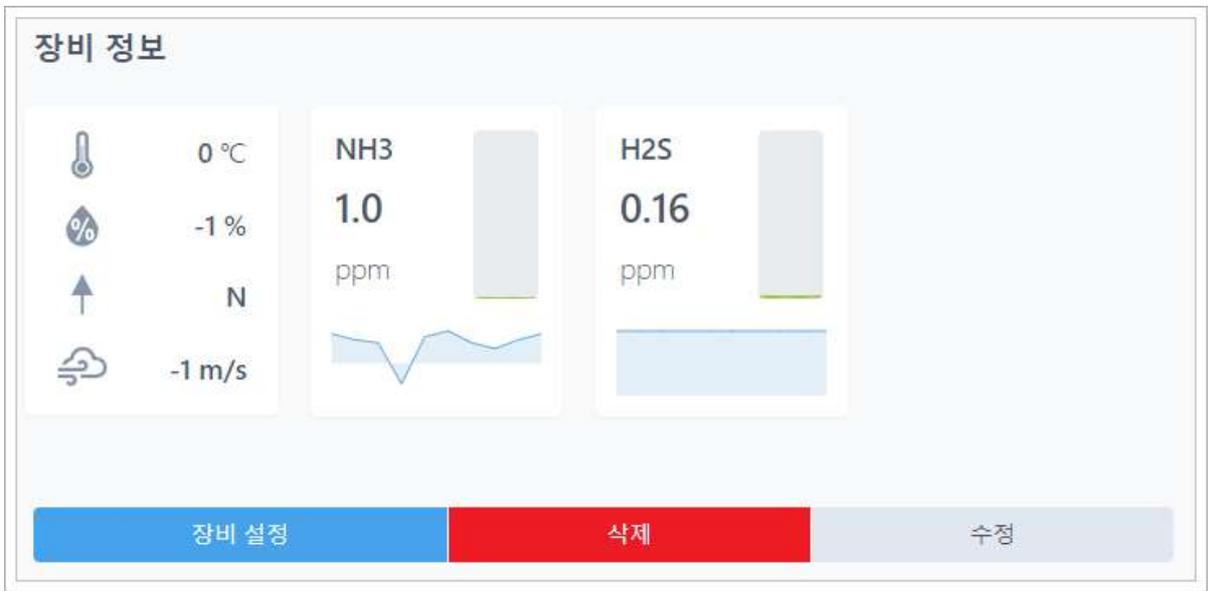
Odor				복합악취 mV에서 ppm 보정수식 선택
A				odor 보정식의 상수 A 값, 기본값 0
B				odor 보정식의 상수 B 값, 기본값 0
C				odor 보정식의 상수 C 값, 해당없으면 0
VOC				VOC mV에서 ppm 보정수식 선택
A				VOC보정식의 상수 A 값, 기본값 0
B				VOC보정식의 상수 B 값, 기본값 0
C				VOC 보정식의 상수 C 값, 해당없으면 0
OU				OU mV에서 ppm 보정수식 선택
A				OU 보정식의 상수 A 값, 기본값 0
B				OU 보정식의 상수 B 값, 기본값 0
C				OU 보정식의 상수 C 값, 해당없으면 0
min1				악취강도 1단계 최소값
min2				악취강도 2단계 최소값
min3				악취강도 3단계 최소값
min4				악취강도 4단계 최소값
min5				악취강도 5단계 최소값
reservedDate Time				예약 포집 날짜 및 시간 : yyyy-mm-dd hh:mm:ss
reservedProc ess				예약 포집 enable/disable : 0:Disable, 1:Enable
autoPocOdor Lev				자동 포집 시작 odor 센서 전압
autoProcess				자동 포집 enable/disable : 0:Disable, 1:Enable

• 모든 항목을 입력하고 "저장" 버튼을 클릭하면 서버에 저장되어 신규 장비가 등록된다.

- 장비 정보



· 장비가 서버와 연결되는 경우 회색 버튼이 "장비설정" 버튼으로 변한다.



[그림 89] 장비정보

장비 설정

측정 구간/분단위

세척 구간/분단위

휴식 기간/분단위

측정 주기/조단위

수정

취소

- 장비 설정을 클릭하면 측정구간, 세척구간, 휴식 기간, 측정 주기(기본:2분/2분/56분/5초)를 변경할 수 있다.

- 장비 수정



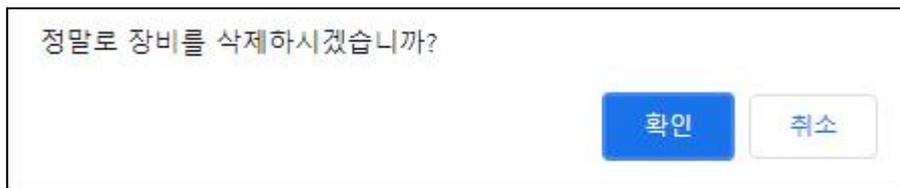
장비 수정 폼의 상세 내용:

제품id	INPF-001-B
장비id	E831CD282C74
제작사	insys
장비명	인플장비 테스트
맥어드레스	E831CD282C74
소속	생명연
설치장소	대전 실험실
행정구역	대전광역시 대전광역시

[그림 90] 장비수정

- 장비 수정후 하단 버튼의 "저장" 버튼을 클릭하면 수정사항이 저장됨.
- 서버에 저장되면 "수정되었습니다."라는 알림창 표출.

- 장비 삭제



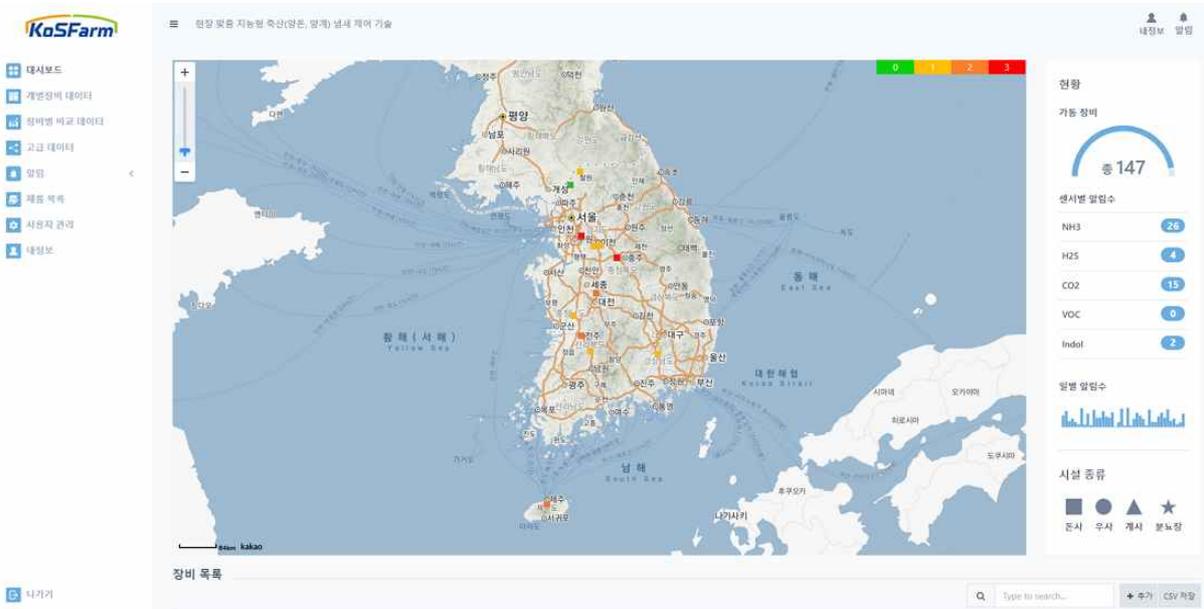
정말로 장비를 삭제하시겠습니까?

확인 취소

- 장비 정보 화면 페이지에서 "삭제" 버튼을 클릭하면 확인창이 뜨며, "확인" 버튼을 누르면 최종적으로 장비 삭제 요청이 서버에 전송된다. 장비가 서버에서 삭제되면 삭제되었다는 확인 메시지가 노출된다.

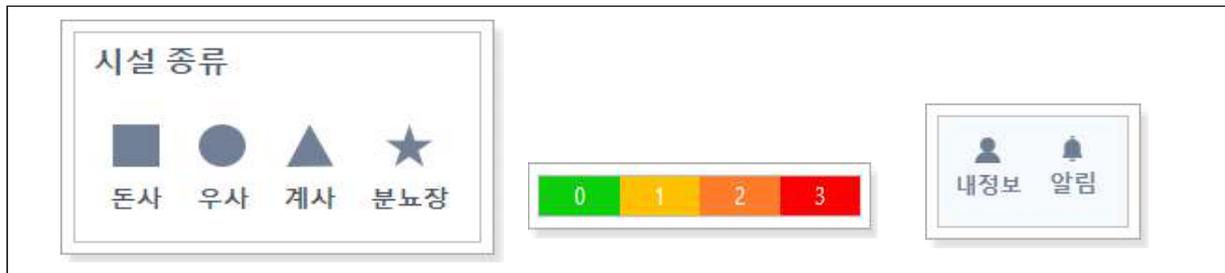
- 대시보드의 지도 기능

- 현재 설치되어있는 장비의 마커는 시설 종류에 따라 지도에 표시되며 마커를 클릭하면 해당 장비정보 페이지로 이동한다.



[그림 91] 지도화면

- 지도 마커는 시설 종류에 따라 상단에 보여지는 것과 같이 모양이 변경된다.



[그림 92] 마커/범례/내정보

- 범례는 임의적으로 4단계를 준비했으나 아직 표준이 정해지지 못했다. 축산환경관리원은 암모니아만을 기준으로 5단계로 구분하고 있지만, 암모니아 이외의 황화수소, VOC 등도 함께 계측하는 경우 기준이 정해지지 않아 임의설정 중이다.

- 지도상에 특정 위치에 장비를 등록

- 마우스 우클릭을하고 "장비 등록"을 클릭하면 해당 위도/경도의 위치에 장비를 추가할 수 있는 페이지가 뜬다. 단, 위,경도값이 소수점 14자리까지 작성해야 정확도가 높는데, 네이버 지도에서는 위, 경도값은 소수점 7자리까지 알려주기 때문에 카카오맵을 사용하였다. 구글맵은 소수점 14자리까지 알려주지만 확대시 지도의 해상도가 좋지 않아서 사용하지 않는다.



[그림 93] 장비등록(지도)

- 데이터

- 데이터는 차트 보기이다. 과거 데이터를 불러와서 차트로 보고 저장할 수 있다.

- 일간 : 실시간 데이터
- 주간 : 10분 평균 데이터
- 월간 : 1시간 평균 데이터
- 연간 : 1일 평균 데이터

- 일간을 선택하는 경우에는 날짜를 선택하는 달력은 disabled 처리되어 설정할 수 없으며, 모든 데이터는 50개만 보여준다. 만일 최신 데이터로 다시 받고 싶으면 데이터 선택창에서 모두 선택 해제했다가 다시 선택하면 된다.

- 데이터 보기는 개별장비와 장비 비교 2가지 경우를 제공한다. 모두 살펴본 데이터는 csv 파일로 저장할 수 있으며, 이외의 데이터를 조회하기 위해서는 데이터베이스에 수동으로 쿼리문을 실행시켜서 데이터를 살펴봐야한다. 차트 하단에는 x축을 확대해서 볼 수 있는 확대바(bar)가 있다.

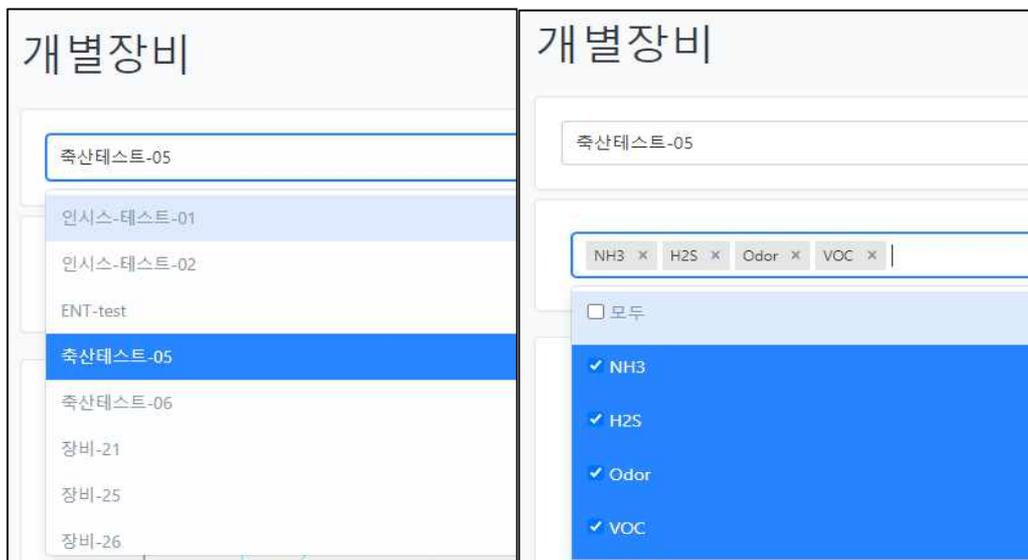
- csv 파일로 저장한 데이터는 엑셀을 통해 확인할 수 있으므로 단순한 보고서의 기능뿐 아니라 엑셀을 다양한 기능을 활용하여 데이터의 확인 및 가공을 수월하게 할 수 있다.

- 개별장비 데이터



[그림 94] 개별장비(데이터)

- 장비 선택

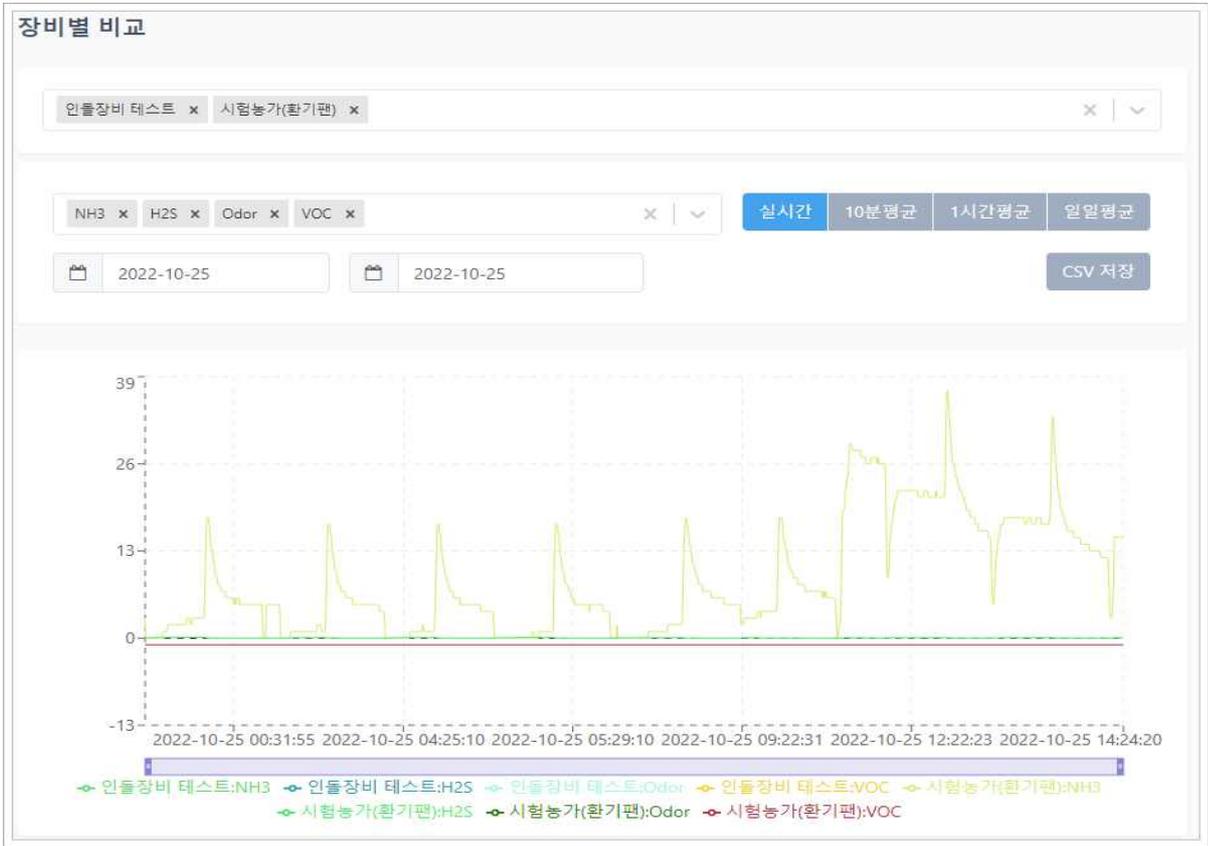


[그림 95] 장비선택(데이터)

· 개별 장비에서는 장비 하나를 선택하고, 장비에 부착되어 측정되는 센서의 종류별로 데이터를 모두, 또는 선택적으로 살펴볼 수 있다.

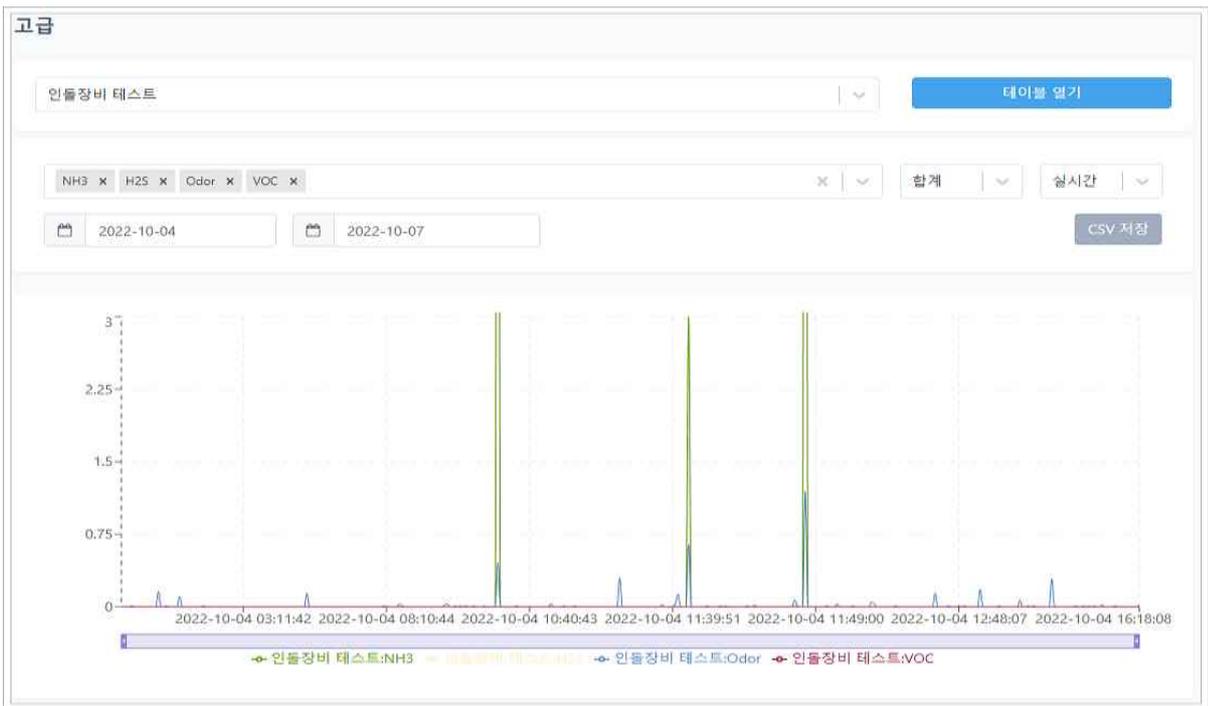
- 장비별 데이터 비교

· 개별 장비와 마찬가지로 장비와 데이터를 선택하여 데이터를 살펴볼 수 있다. 여기에서는 장비를 복수로 선택할 수 있다. 모두 선택하거나, 선택적으로 복수개를 선택하여, 특정 물질이나 모든 물질의 데이터를 비교해보는 것이 가능하다.



[그림 96] 장비별 데이터 비교

- 고급 데이터



[그림 97] 고급(데이터)

- 데이터의 분석 편의를 위해 아래의 각항에 대해 설정을 할 수 있다.

- 연산 종류	시간
최대값	1분/5분/10분
중간값	1시간
평균값	1일
	1월

- 테이블 열기

개별 테이블 열기 클릭시 그래프 하단에 데이터가 수집된 시간이 표로 표시된다.

- 알림 내역

- 알림은 웹 페이지에서 확인할 수 있는 웹 알림과 휴대폰의 문자메시지를 받는 SMS 알림이 가능하다.

번호	유형	장비명	종류	내용	수치	발생시간
5	Fatal	장비3	전원	장비고장	ON/OFF	2021-06-01T07:57:00
6	Fatal	장비4	통신OFF	통신두절	ON/OFF	2021-06-02T07:57:00
11	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-06-24T02:15:37
12	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-06-24T02:16:05
13	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-06-24T02:17:05
62	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-06-23T00:56:06
63	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-06-25T00:31:42
64	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-06-25T00:39:08
65	Warning	장비3	전원	장비고장	ON	2021-09-24T00:40:05
66	Error		h2s	h2s over 10000		2021-09-24T00:24:42

[그림 98] 알림내역

번호	유형	장비명	종류	내용	수치	발생시간
	심각		전원			
	위험		센서		30ppm	

- 알림 설정

- 알림은 특정 센서와 특정 조건에 의해서 정의될 수 있으며, 이를 받는 알림 수신자 설정도 가능하다. 알림의 종류는 전원(통신)상태 이외에는 장비가 보내주는 알림 메시지 종류에 대해서만 설정이 가능하고, 대신 값을 설정하면, 동일한 geocode의 모든 장비가 동일한 값으로 적용된다. 즉, geocode=전국으로 하여, 암모니아 센서의 경고수치를 20ppm, 위험수치를 30ppm으로 설정하면 전국의 동일한 제품의 장비에

대해 암모니아 센서는 동일한 설정값을 가지게 된다.

id	행정구역	제품id	종류	경고수치	위험수치	온오프
	전국		전원			On
	전라북도	제품1	암모니아	20ppm	30ppm	Off

알림 설정

🔍 Type to search... + 추가 CSV 저장

id	행정구역	제품id	종류	경고수치	위험수치	온오프
10	전라북도	악취강도	OI	4	5	off
11	5d7d29f16cdfbb19a69c45d21	TVOCs	TVOCs			off
12	전라북도	장비-07	Odor	12	20	off
13	5d7d29f16cdfbb19a69c45d21	복합악취	ODOR	350	400	off
16	5d7d29f16cdfbb19a69c45d21	악취강도	OI	3	4	off
18	5d7d29f16cdfbb19a69c45d21	악취강도	OI	3	4	off
19	5d7d29f16cdfbb19a69c45d21	악취강도	OI	3	4	off
20	5d7d29f16cdfbb19a69c45d2b	test	test	1	3	off
21	test	test	test	23424	2222	off
22	소속-01	장비이름-01	h2s	1000	10000	on

10 ~ 총 10개 1

알림 추가

행정구역:

제품ID:

종류:

경고알림 수치:

위험수치:

온/오프:

환기팬:

거품도포기:

저장 취소

[그림 99] 알림설정 및 알림추가

- 알림의 조건은 다음의 표에 따라 설치 장소에 따라 기기별로 장소에 따라 다르게 설정할 수 있다.
- 알림의 조건을 설정하여 알림을 추가하면 해당 조건을 트리거로 하여 알림을 발송할 수 있다.

항목	내용
행정구역	기기가 설치된 행정구역의 설정
제품ID	설치된 제품의 선택
종류	센서(암모니아, 화화수소등)와 연결상태 선택
경고알람수치	1차 알람으로 저감 시설의 제어나 작동을 위한 알람으로 사용자가 수치를 입력하여 설정한다.
위험수치	1차 이후에 저감 시설의 오작동이나 저감 시설의 작동에도 불구하고 수치가 올라가 조치가 필요한 경우를 위한 것으로 사용자가 설정한 수치에 도달하면 위험 알람을 발송한다.
온/오프	기기가 온/오프 되었을 때 알람을 발송
환기팬	환기팬이 작동할 때 알람 발송
거품도포기	거품도포기가 작동할 때 알람 발송

알림 수정

id 10

행정구역 강원도 평창군

제품id product-id-02

종류 NH3

경고수치 4

위험수치 5

온오프 off

삭제 저장 취소

[그림 100] 알림수정

- 알림 수정

- 설정된 알림조건은 알림 수정정할 수 있으며, 알림 수치의 변경 알림 항목의 변경을 할 수 있다.

알림 수신자 관리

[그림 101] 알림수신자 관리

수신자 추가	사용자 선택	등록된 사용자중 선택
	사용자 이름	이름 추가할 것
	휴대전화번호	전화번호 복수로 추가 가능. 콤마로 구분함

· 알림 수신자의 전화번호는 복수로 등록할 수 있도록 한다. 복수가 등록되면 콤마로 구분한다. 예) 010-0000-1111, 010-1111-2222, 010-4567-2580 과 같다.

- 알림 설정의 사용자 권한

- 일반사용자(농장주)

· 농장주 geocode와 depart = 장비 geocode와 depart 같은 경우에 대해서만 다음을 적용한다.

- 자신의 장비에 대해서만 알림 내역 보기 가능
- 자신의 장비에 대해서만 알림 설정가능
- 자신의 아이디에 대해서만 수신자 관리 가능 : 전화번호 복수 등록 가능

- 관리자(admin, 지자체 혹은 단체관리자)

· 사용자 geocode = 장비 geocode가 같은 경우에 대해서만 다음을 적용한다.

- 자신의 장비에 대해서만 알림 내역 보기 가능
- 자신의 장비에 대해서만 알림 설정가능
- 자신과 같은 geocode를 가지는 아이디에 대해서만 수신자 관리 가능 : 전화번호 복수 등록 가능

- 최고관리자(SUPER)

· 모두 가능

- 알림 설정의 추가 기능 계획
 - 개발 후 필터 테스트 과정에서 받은 피드백 또는 자체적인 기능의 추가가 의견이 있어 추후 개발과정에서 고려중인 사항임
 - SMS알림에 모니터링 시스템으로 이동할 수 있는 링크를 추가하여 사용자가 상태 확인을 빠르게 할 수 있도록 편의성을 극대화
 - 지역별 또는 농장별 알림의 빈도 및 추이를 확인할 수 있도록 알림에 대한 통계를 확인할 수 있는 기능의 구성을 고려하고 있다.
- 제품의 관리(측정기기)

제품 목록						
<input type="text" value="Type to search..."/> + 추가 CSV 저장						
제작사	제품Id	제품명	등록 일자	출시 일자	용도	비고
	INPF-001-B	INPF-001-B	2022-06-07	2022-06-07	암모니아, 황화수소, 인돌	
	product-id-01	제품 이름 001	2021-06-01	2020-01-01	용도 001	비고 01
	product-id-02	제품 이름 002	2021-06-02	2020-01-02	용도 002	비고 002
	product-id-03	제품 이름 003	2021-06-02	2020-01-02	용도 003	비고 003
	product-jw-01	제품 이름 005	2021-06-04	2020-01-04	용도 004	비고 004

[그림 102] 제품목록

- 연동가능한 제품의 목록 통신규약에 맞게 생산된 제품의 버전이나 사양에 따라 등록하여 사용할 수 있다.

제품 추가

제품id

제작사

제품명

등록 일자

출시 일자

용도

비고

[그림 103] 제품추가

- 제품정보

제품 정보

제품id: product-id-03

제품명: 제품 이름 003

id	type	alias	name	onoff	label	spec	chemiunit	threshold	min	max	elecunit	note
13	Sensor	nh3	NH3	on	암모니아	100	ppm	30	4	100	mV	
14	Sensor	h2s	H2S	on	황화수소	50	ppm	5	0.1	10	mV	
15	Actuator	acc	acCurrent		환기팬		mV	0	0	100		
48	Sensor	co2	CO2	on	이산화탄소	100	ppm	30	0	100	mV	

10 ▼ 총 4개 1

[그림 104] 제품의 정보

- 제품정보 항목 구분

[표 17] 제품정보 항목 구분

id	productid	type	alias	name	onoff	label	spec	chemi_unit	threshold	min	max	unit	설명
1	product-jw-01	Sensor	nh3	NH3	on	암모니아	100	ppm	70	0	100	mV	암모니아 센서
2		Sensor	h2s	H2S	on	황화수소	50	ppm	20	0	50	mV	황화수소 센서

3	Sensor	odor	Odor	off	복합악취	50	ppm	30	0	50	mV	복합악취 센서
4	Sensor	voc	VOC	off	VOC	50	ppm	30	0	50	mV	VOC 센서
5	Sensor	inTmp	InTemperature		온도		C	40	0	100	C	장치 내부 온도 센서
6	Sensor	inHum	InHumidity		습도		%	80	0	100	%	장치 내부 습도 센서
7	Sensor	exTmp	OutTemperature		온도		C	0	0	100	C	장치 외부 온도 센서
8	Sensor	exHum	OutHumidity		습도		%	0	0	100	%	장치 외부 습도 센서
9	Sensor	dirAngle	windDirection		풍향				0	359	degree	풍향계
10	Sensor	aVelCnt	windScale		풍속				0	-	펄스/분	풍속계:m/s로 보정해야함
11		ovpVolt										입력 전압: adc 입력 전압값
12		preVolt										pre 전압: adc 입력 전압값
13	button	btStart										Start 버튼 상태 : 1:On,0:Off
14	button	btSample										Sample 버튼 상태 : 1:On,0:Off
15	button	btClean										Clean 버튼 상태 : 1:On,0:Off
16	switch	limitSt										Limit Switch 상태 : 1:On,0:Off
17	switch	door1St										door1 Switch 상태 : 1:On,0:Off
18	switch	door2St										door2 Switch 상태 : 1:On,0:Off
19	pump	pumpSt										Sampling Pump Fail : 1:Fail,0:정상
20	valve	solOut1										Sol-valve1 출력 상태 : 0:Off, 1:On
21	valve	solOut2										Sol-valve2 출력 상태 : 0:Off, 1:On
22	valve	solOut3										Sol-valve3 출력 상태 : 0:Off, 1:On
23	pump	samplePumpOut										Sampling Pump 출력 상태 : 0:Off, 1:On
24	pump	sensorPumpOut										sensor Pump 출력 상태 : 0:Off, 1:On
25	fan	fanOut										Fan 출력 상태 : 0:Off, 1:On
26	heater	heatOut										heater 출력 상태 : 0:Off, 1:On

- 센서 관리

센서 수정

id	1
productid	product-id-01
type	Sensor
alias	nh3
name	NH3
onoff	off
label	암모니아
spec	100
chemiunit	ppm
threshold	30
min	0
max	100
elecunit	mV
note	비교 01

삭제 저장 취소

[그림 105] 센서 수정

[표 18] 센서 수정 페이지 항목별 설명

속성 번호	id	int
제품 번호	productid	string
장비 형태	type	string
가명	alias	string
이름	name	string
onoff	onoff	string
라벨	label	string
센서 최대측정값	spec	string
화학단위	chemiunit	string
임계값	threshold	string
min	min	string
max	max	string
전기단위	elecunit	string
설명	note	string

- 제품의 수정

제품 수정

제품id: product-id-01

제작사: insys

제품명: 제품 이름 001

등록 일자: 2021-06-01

출시 일자: 2020-01-01

용도: 용도 001

비고: 비고 01

삭제 저장 취소

[그림 106] 제품 수정

- 사용자 관리

사용자 관리

Q Type to search... + 추가 CSV 저장

사용자 계정	사용자 이름	소속	행정구역	직책	이메일	휴대전화번호	권한
id000	이엔티1	이엔티1	전국 전국	연구소장			admin
id001	이름입니다	제주축산원	제주특별자치도 제주특별자치도	팀장	firesaba@inent.co.kr	010-1234-5678	user
id003	이름003	지자체001	전라북도 전라북도	계장	id001@a.com	010-1234-5680	admin
inent	이엔티	이엔티	전국 전국	연구소장			super
							user
							user
							admin
nias-jeju	국립축산원-제주	제주국립축산원	제주특별자치도 제주특별자치도	팀장	example@example.or.ke	000-0000-0000	user
							user
							user

10 ▾ 총 26개 < 1 2 3 >

[그림 107] 사용자 관리

- 사용자를 추가하는 방법은 관제시스템의 회원가입을 통해 사용자가 직접 입력하는 경우와 관리자가 사용자 페이지에서 사용자 추가 버튼을 이용하여 추가하는 2가지 방법이 있다. 두 경우 모두 inent.dev@gmail.com으로 메일이 오며, 7.2와 같이 사

용승인을 하면 해당 메일의 발송 주소지로 1회용 비밀번호가 발급됨.

[그림 108] 장비정보

계정	이름	소속	행정구역	직책	이메일	전화번호	권한
id001	홍길동	익산시청	익산시	과장	xxx@xxx.com	xxx.xxxx	admin

- 사용자 승인
 - 승인시 행정구역과 사용자 권한 설정후 저장.
- 장비 등록이 가능한 경우 : admin으로 권한 설정하고 행정구역을 설정.
- 장비를 보기만 하는 경우 : user로 설정하고 행정구역을 설정.
- 행정구역의 설정
 - 행정구역의 설정은 해당 사용자가 행정구역의 관리하에 들어가기 때문에 정확하게 설정하여야 한다 행정구역설정에 따라 시/군의 모니터링 화면에 표시 되므로 행정구역 설정에 오류가 있으면 다른 행정구역의 모니터링 시스템에 표시되는 상황이 생길 수 있다.
 - 시/군 담당자처럼 지역을 관리하는 중간 관리자의 경우 admin으로 설정하여야 모니터링 화면에 해당 지역의 모든 장치가 표기된다.
- 소속의 입력
 - 소속은 행정구역의 하위개념으로 user로 설정되어 있는 사용자에게 적용된다. 농장의 이름 등을 입력하여 설정한다. 단 기기 등록시 사용한 소속명과 동일 하게 입력하여야 기기의 모니터링이 가능하며. 소속명이 동일한 장치만 모니터링 할 수 있다.

사용자 계정	test01
사용자 이름	테스트계정
행정구역	항목을 선택하세요.
소속	테스트
직책	테스트
이메일	test01@gmail.com
휴대전화번호	010-1234-5678
권한	user

[그림 109] 사용자수정

- 사용자 수정

- 자신의 정보를 바꾸려면 자신의 아이디로 로그인해서 내정보에서 이름, 비밀번호, 행정구역, 소속 등을 변경할 수 있다. 관리자는 행정구역과 권한만 변경할 수 있음.

- 내정보

- 내정보메뉴는 사용자 본인의 사용자계정에 대한 정보를 볼 수 있으면 알림 사용을 설정할 수 있다. 비밀번호는 암호화 되어 저장하여 관리지도 확인할 수 없으면 비밀번호 분실시 재설정 하여야 한다.

사용자 계정	inent
비밀번호	<input type="password"/>
사용자 이름	이연티
행정구역	전국 전국
소속	이연티
직책	연구소장
이메일	<input type="text"/>
휴대전화번호	<input type="text"/>
필 알림	<input checked="" type="checkbox"/>
SMS 알림	<input type="checkbox"/>
권한	super

[그림 110] 내정보

[표 19] 내정보 페이지 항목별 설명

화면 잠금시간 변경	
사용자 계정	계정은 수정 불가
비밀번호	
사용자 이름	
행정 구역	242개중 하나만 선택. 복수로 선택할 수 없음.
소속	
직책	
이메일	
휴대전화번호	복수로 등록할 수 있음
웹 알림	
SMS 알림	
권한	권한은 수정할 수 없음

- 모니터링 시스템 추가 기능 계획

- 개발 후 필트 테스트 과정에서 받은 피드백 또는 자체적인 기능의 추가가 의견이 있어 추 후 개발과정에서 고려중인 사항 임
- 시스템 모니터링 자체의 UI에 편리성을 도모하고자 공지사항의 경우 알림 기능을 사용하려고 하였으나, 구제역이나 아프리카돼지열병같은 전염병같은 중대 사항이 발생할 경우 알림 이외에 모니터링 시스템에 접속했을 때 새로운 창으로 강조하여 공지할 수 있는 기능이 필요하다는 의견이 있어 고려 중임.

- 거품도포기 성능 평가를 위한 2차 테스트에서 측정기 설치 및 실제 데이터 측정

- 거품도포기의 설치와 동시에 측정장치를 설치하고 데이터를 수집함.
- 데이터의 수집과 측정기기의 실전 테스트를 병행.

○ 계사 설치

- 계사에 측정장치 설치 및 거품도포 실험을 위해 총주에 위치한 양계장과 협의하여 병아리 입식 준비 기간을 이용해 계사 내부의 가스를 측정할 수 있도록 양계 퇴비가 있는 상태와 양계사 청소 및 소독 후 측정창지를 설치하여 데이터를 수집함.
- 기기의 정상작동을 테스트하기 위해 일부 구역에 거품도포 후 검지관을 이용한 측정값과 비교를 통해 정상측정 가능한지 테스트 후 기기를 설치하고 데이터의 전송을 확인.



[그림 111] 계사내 측정기기 설치 및 거품도포를 위해 계사를 전부 비운 모습



[그림 112] 기기의 정상작동 확인을 위한 테스트 측정 및 측정장치의 설치(계사)

- 바이오커튼 설치

- 바이오커튼을 통과한 대기의 변화를 측정하기 위해 바이오커튼 및 측정기를 설치함.
- 바이오 커튼은 축사내부의 공기가 바로 배출되는 환기팬 전면을 감싸는 형태이며 내부에약취 저감제의 분무를 위한 안개 분무기를 설치함.



[그림 113] 바이오커튼의 설치과정(좌) 및 위치 (우)

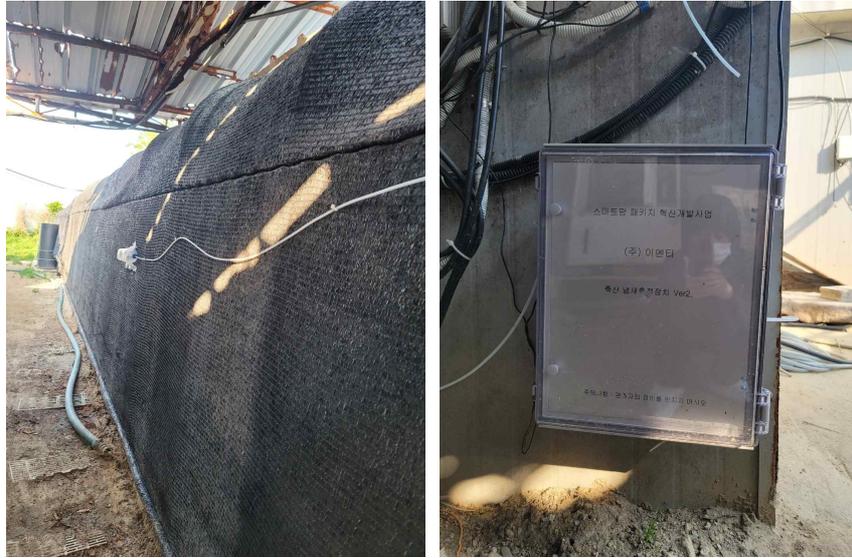


[그림 114] 미세 분사노즐을 통한 약취 저감제 (오딘) 분사 모습

· 약취 저감제의 안개분무가 가능하도록 바이오커튼 내부의 액체 분사노즐을 설치 하였으나 입자가 굵어 약취 저감제의 효과가 감소할 것이 우려되어 미세입자가 가능한 노즐로 교체 설치하였고 미세분무를 통해 약취 저감제가 고르게 내부에 분포하는 것을 확인할 수 있었으며 약취 저감제의 효과가 보다 증가

- 돈사 설치(외부)

· 돈사 내부와 외부의 측정을 위해서 내부와 외부에 측정장치를 설치하였으며 외부의 경우 바이오커튼을 통과한 공기의 측정을 위해 측정 위치를 바이오커튼 외부에 거의 접촉하는 수준으로 설치 하였으며 기기의 작동 후 데이터의 전송을 확인하였음.



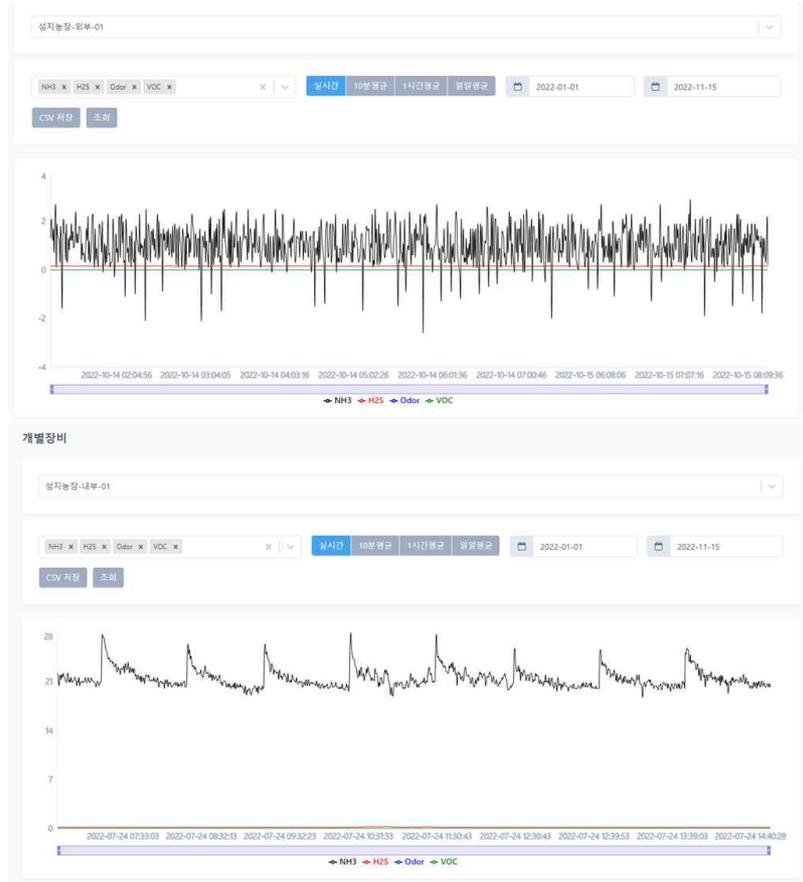
[그림 115] 미세 분사노즐을 통한 악취 저감제 (오딘) 분사 모습

- 돈사 설치(내부)



[그림 116] 돈사 내부 샘플라인 및 포집부

- 돈사의 내부의 측정을 위해 돈사 내 돼지가 위치하는 곳의 중앙 상단을 측정 위치로 정하여 샘플라인의 취입부를 설치함. 돈사 내부의 열악한 환경에 기기의 내구성 확보를 위해 측정장치 본체는 돈사의 외부에 설치하였으며 샘플라인의 오염을 방지하기 위해 내외부 모든 취입부에 필터를 장착하였음.



[그림 117] 성지농장 측정 데이터 (웹)

- 퇴비장 설치

- 전북 완주군에 위치한 퇴비장에 방문하여 기기를 설치 하였으며 거품도포기와 측정 기기의 효과 테스트를 위한 데이터의 수집을 목적으로 함으로 거품도포기의 저감효과와 측정기기가 동시에 이루어졌으며 설치 후 거품 살포기와 측정기기의 작동을 확인하였음



[그림 118] 거품도포기의 설치모습 (퇴비장)



[그림 119] 거품도포기의 작동 모습 (좌), 측정기기의 설치 후 작동 확인 (우)

- 퇴비장의 경우 퇴비의 양이나 기타 변화에 대응할 수 있도록 이동형으로 설치하였으며 측정위치는 거품노즐의 위치와 분사위치를 고려하여 퇴비 상단부에 위치할 수 있도록 포집부를 설치하고 샘플라인을 통해 외부에 설치된 기기에서 내부 상태를 측정함.
- 설치 후 농장에서 측정한 데이터를 서버상에서 확인하였으며 거품 도포 전후로 악취 물질의 농도가 감소하였고 커튼을 열어 환기를 시키거나 퇴비장 내 출입을 함에 따라 측정값이 변하는 것을 확인함.





[그림 120] 누리농장 측정 데이터 (웹)

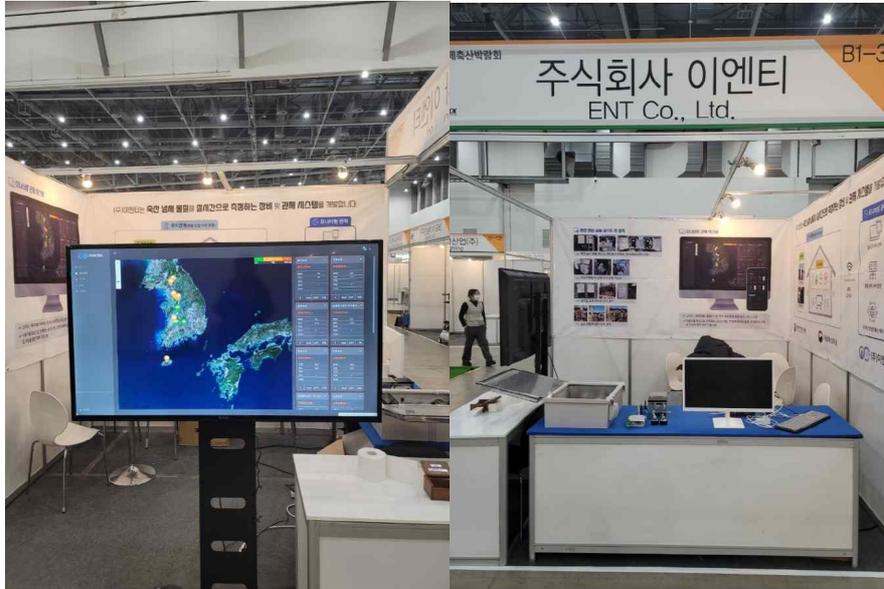
○ 악취 모니터링 및 저감 IoT 시스템

- 악취의 정도에 따른 거품 살포기 가동 0n/off가 되게끔 IoT 시스템을 도입함. 암모니아 기준 20 ppm을 초과할 시 거품 살포기가 작동됨. 또한 수동으로 거품 살포기를 0n/off 도 가능하게 함.

[그림 121] 거품 살포기 제어 시스템

○ 2022 한국 국제축산박람회 참가

- 국제축산박람회(대구)에 참가하여 본 과제를 통하여 제작된 축산 악취 측정 장치 및 모니터링 시스템을 시연하고 홍보함.



[그림 122] 국제축산박람회 참가 (2022.02.16.)

○ 빅데이터 플랫폼 활용

- 스마트팜 사업단에서 운영하는 빅데이터 플랫폼을 활용하여 축산(양돈/양계) 약취 기여도 DB, 축사 약취 측정 데이터, 축산 환경 별 약취 예측 모델을 업로드 진행함.

전체 3 건

세부과제번호	세부과제내용	양식명	연구분야	품목	품종	등록일시
421020-03-1-HD040	양돈, 양계 유래 주요 냄새물질 배출 특성 평가, 축산 맞춤형 test-bed 구축	축산(양돈) 약취 기여도 DB 구축	생육 + 환경	돼지-비육돈	3원교잡종	2022-11-16
421020-03-1-HD040	양돈, 양계 유래 주요 냄새물질 배출 특성 평가, 축산 맞춤형 test-bed 구축	축산(양계) 약취 기여도 DB 구축	생육 + 환경	기금류-산란계	산란계	2022-11-16
421020-03-1-HD020	약취관리 융합형 관제탑 구축 및 실증, 축사 약취 모니터링 및 시스템 개발 및 실증	축사 약취강도 조사	생육	돼지-기타	육성돈, 비육	2022-10-28

전체 1 건

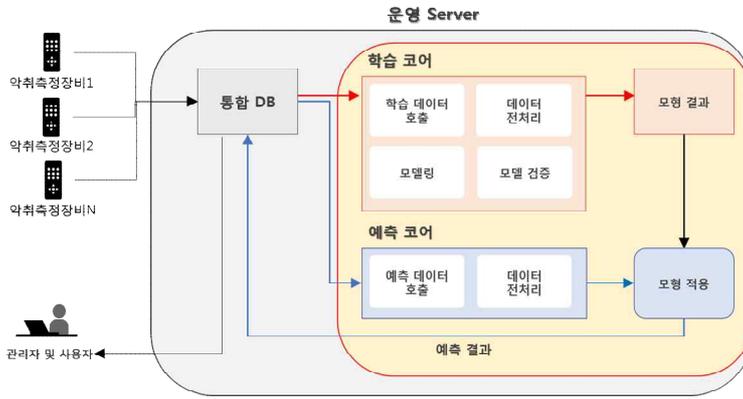
세부과제번호	세부과제내용	파일설명	연구분야	품목	품종	등록일시
421020-03-1-HD030	IoT 빅데이터 및 인공지능 기반의 축산 약취 실시간 조기 예,경보 알고리즘 개발 및 실증 연구	축산 환경 별 약취 예측 모델	환경	돼지-기타	육성돈, 비육돈	2022-11-14

[그림 123] 빅데이터 플랫폼 업로드 데이터 항목

3) 제 2 공동연구기관: (주)베가스

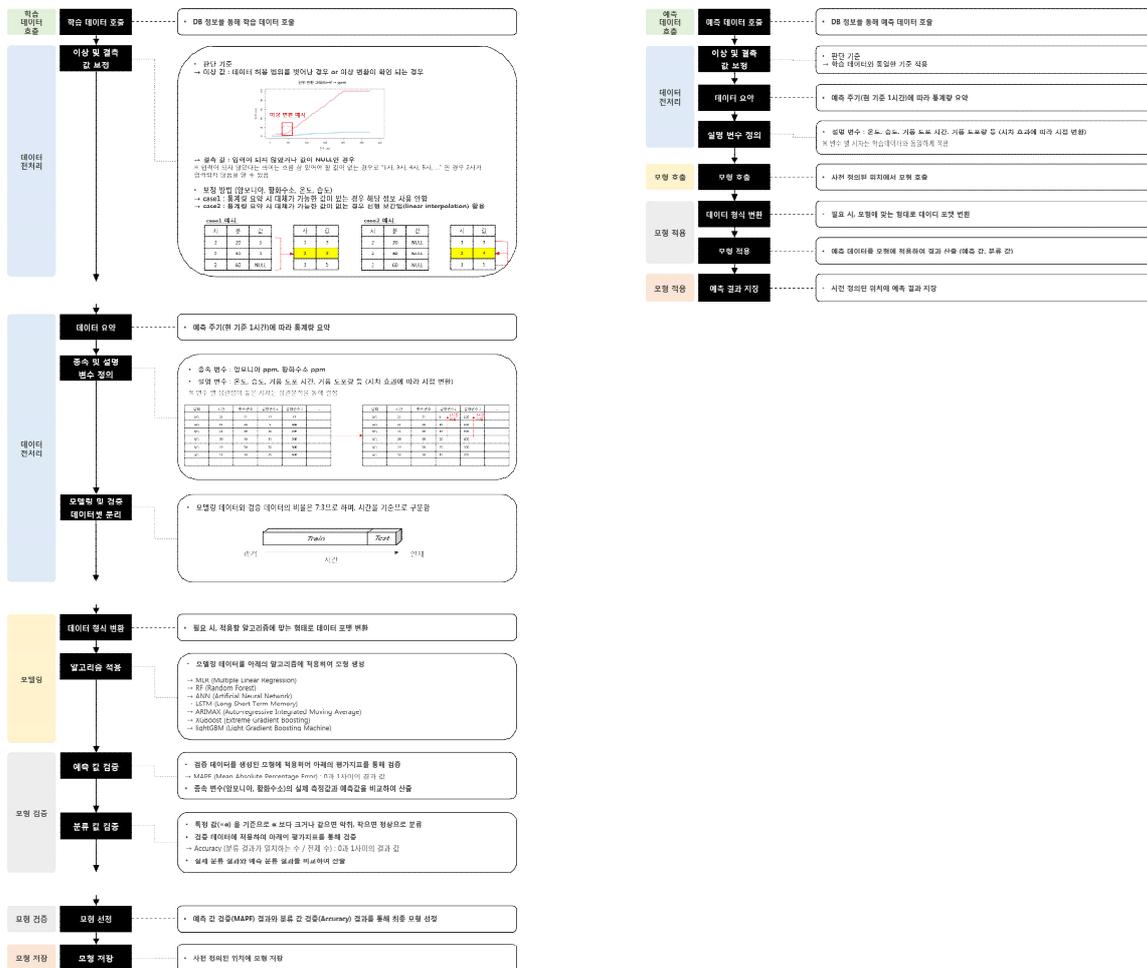
○ 알고리즘 설계 (특허 출원 1건)

- 데이터 확보 및 데이터 구조 파악
- 알고리즘 운영 프로세스 설계 : 학습 코어와 예측 코어로 분류



[그림 124] 알고리즘 운영 프로세스

- 코어 별 기능 및 역할 설계



[그림 125] 학습 코어 기능(좌), 예측 코어 기능(우)

- 관련 특허 출원

제목	인공지능 기반의 축산농가의 악취 예측 시스템 및 방법 (SYSTEM AND METHOD FOR PREDICTING ODOR OF LIVESTOCK FARM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE)		
	국가/특허번호	한국 / (출원번호)10-2022-0098728	
과제 고유 번호	1545025551	기여율	1

○ 알고리즘 개발 및 실증 연구 (SW 저작권 등록 1건)

- 설계에 따라 알고리즘 개발 (개발 언어 : R)
- 종속 변수와 설명 변수와의 시차는 교차 상관분석을 통해 12시간과 24시간으로 정의함
- 예측 주기, 알람 기준 등의 농가 상황에 따라 달라질 수 있으므로 변경이 용이하도록 구성

[표 20] 함수 코드 구성

함수 파일 명	함수	설명
common_preprocess_tools.R	LOAD_FN	데이터 호출
	PREPROCESS_FN	데이터 전처리(이상치/결측치/통계량)
	TRAIN_ANAL_FN	학습 시차 데이터 생성
	PRED_ANAL_FN	예측 시차 데이터 생성
train_model_tools.R	MODELING_MLR	회귀분석 모델링
	MODELING_RF	랜덤포레스트모델링
	MODELING_XGBOOST	XGBoost 모델링
	MODELING_LIGHTGBM	Light GBM 모델링
	MODELING_ANN	Artificial Neural Network 모델링
	MODELING_LSTM	LSTM 모델링
	MODELING_ARIMAX	ARIMA 모델링
	EVAL_FN	모델 평가
pred_prediction_tools.R	SAVE_FN	모델 저장
	MODEL_LOAD_FN	모델 불러오기
	PRED_FN	예측

[표 21] 학습 및 예측 코어의 코드 구성

코어 파일 명	함수 코드 파일 명	함수	설명
train_core.R	common_preprocess_tools.R	LOAD_FN	학습데이터 호출
	common_preprocess_tools.R	PREPROCESS_FN	데이터 처리(이상치/결측치/통계량)
	common_preprocess_tools.R	TRAIN_ANAL_FN	시차 데이터 생성
	train_preprocess_tools.R	MODELING	모델링
	train_preprocess_tools.R	EVAL_FN	모델평가
	train_preprocess_tools.R	SAVE_FN	모델저장
pred_core.R	common_preprocess_tools.R	LOAD_FN	예측데이터 호출
	common_preprocess_tools.R	PREPROCESS_FN	예측데이터 전처리
	common_preprocess_tools.R	PRED_ANAL_FN	시차 데이터 생성
	pred_prediction_tools.R	MODEL_LOAD_FN	모델 불러오기
	pred_prediction_tools.R	PRED_FN	예측

- SW 저작권 등록

저작물의 명칭	축산 악취 예측 프로그램
등록 번호	제C-2022-038280호
저작자	(주)베가스
과제 고유 번호	1545025551

○ 테스트 및 개선

- DB 내 다양한 농가에서 측정된 데이터를 적용하여 오류 및 개선점 확인
 - 단일 값을 가지는 변수 제거 기능 추가

- 결측이 장기간인 경우 일반적인 선형 보간법은 예측에 좋은 영향을 주지 못함
 - 시간대를 고려하여 선형 보간법 적용으로 보완
- 실제 값이 0인 경우, 평가지표인 MAPE가 무한대로 산출되어 보완

○ 센서 데이터 알고리즘 적용

- 2차년도(2022)에 8개 축산 농가에서 측정된 센서 데이터 검토
- 모형 생성 가능성 확인을 통해 내/외부 구간, 기간, 예측 약취 등을 고려하여 28개 케이스에 대한 알고리즘 적용 및 검증
- 각 케이스 별 학습데이터 70%, 검증데이터 30%로 분리하여 검증함
- 예측 평가지표는 MAPE를 활용하였으며 평균 정확도 86.02%를 확인 하였으며, 분류 평가지표는 정확도(Accuracy)를 활용하여 평균 정확도 98.95%를 확인 하였음
- 다만, 일부 농가에서 예측 정확도가 많이 낮은 경우가 있어 알고리즘 고도화가 필요함

[표 22] 알고리즘 적용 결과

축산농가	측정 위치	데이터 기간	예측 약취	최적 모형	MAPE	정확도
상원농장	내부	2022.03~2022.04	암모니아	LSTM_Y	75.70%	86.30%
상원농장	내부	2022.07~2022.07	암모니아	ARIMAX	85.57%	97.30%
상원농장	외부	2022.01~2022.08	암모니아	MLR	97.10%	100%
성지농장	내부	2022.04~2022.07	암모니아	MLR	81.97%	100%
성지농장	외부	2022.04~2022.07	암모니아	XGBoost	53.41%	100%
신천농장	내부	2022.01~2022.01	암모니아	LSTM_Y	97.40%	100%
신천농장	외부	2022.01~2022.01	암모니아	ARIMAX	60.44%	100%
이천분뇨자원화센터	내부	2022.01~2022.08	암모니아	MLR	75.60%	100%
제주축산원	내부	2022.01~2022.02	암모니아	ANN	97.09%	100%
제주축산원	내부	2022.03~2022.03	암모니아	ARIMA	91.34%	100%
태웅	내부	2022.01~2022.03	암모니아	LSTM_Y	87.73%	100%
태웅	내부	2022.04~2022.05	암모니아	ARIMA	94.96%	100%
태웅	외부	2022.03~2022.05	암모니아	lightGBM	6.8%	86.88%
포도농장	내부	2022.01~2022.08	암모니아	LSTM	89.80%	100%
포도농장	외부	2022.01~2022.05	암모니아	MLR	92.90%	100%
포도농장	외부	2022.08~2022.08	암모니아	XGBoost	97.37%	100%
상원농장	내부	2022.03~2022.04	황화수소	XGBoost	84.76%	100%
상원농장	외부	2022.01~2022.08	황화수소	ARIMA	99.55%	100%
성지농장	내부	2022.04~2022.07	황화수소	ANN	98.04%	100%
성지농장	외부	2022.04~2022.07	황화수소	ANN	99.96%	100%
신천농장	내부	2022.01~2022.01	황화수소	LSTM_Y	89.08%	100%
신천농장	외부	2022.01~2022.01	황화수소	ANN	99.96%	100%
이천분뇨자원화센터	내부	2022.01~2022.08	황화수소	ARIMA	99.21%	100%
제주축산원	내부	2022.01~2022.02	황화수소	XGBoost	90.90%	100%
제주축산원	내부	2022.03~2022.03	황화수소	ANN	98.06%	100%
태웅	내부	2022.01~2022.03	황화수소	ANN	96.35%	100%
태웅	내부	2022.04~2022.05	황화수소	ARIMAX	97.48%	100%
태웅	외부	2022.03~2022.05	황화수소	LSTM_Y	70.16%	100%

※ LSTM_Y : 종속변수만 활용한 LSTM 모형

4) 제 3 공동연구기관: 국립축산과학원

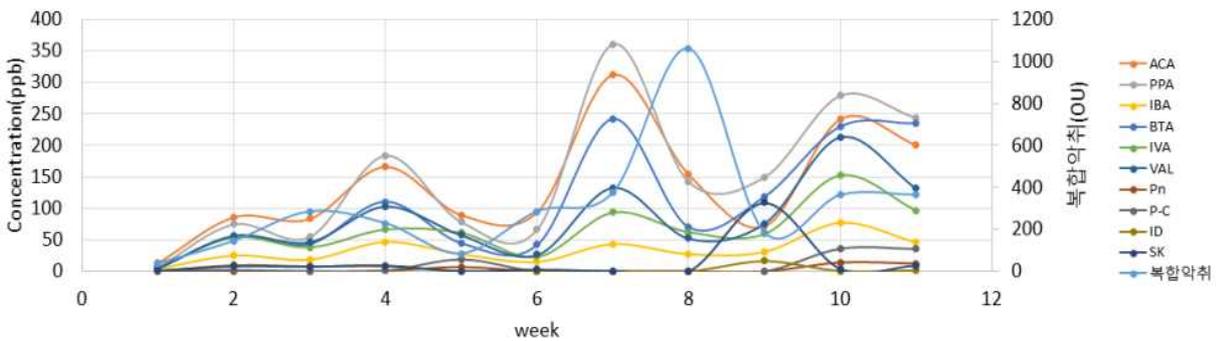
<양돈 축사 유형 · 악취발생원별 악취 DB 구축(n=323)>

- 국립축산과학원 test-bed 축사 육성·비육기 돼지 사육 중 돈사내부 악취물질 측정(n=66)
 - 5.8m × 7m 크기의 돈방에 10주령 돼지를 34두 입식하여 2021년 4월 ~ 2021년 7월 기간동안 사육하며 돈사내부 악취물질을 측정하고 DB를 구축하였음
 - 악취공정 시험법에 따라 복합악취(ES 09301.b 공기희석관능법)를 측정하였으며, 양돈유래 주요 악취물질로 알려진 휘발성 지방산류 · 페놀류 · 인돌류는 TD-GC-FID를 이용하여 분석하였음

[표 23] 측정결과 기술통계

분류(약어)		최소값	최대값	평균	표준편차
휘발성 지방산류 (VFAs)	acetic acid(ACA)	3.41	370.07	143.90	99.23
	propionic acid(PPA)	0.26	411.47	155.78	117.63
	iso-butyric acid(IBA)	0.19	106.97	33.99	21.25
	butyric acid(BTA)	2.08	334.17	111.55	90.02
	iso-valeric acid(IVA)	3.37	253.75	66.84	48.68
	valeric acid(VAL)	0.33	293.69	84.32	60.62
페놀류	Phenol(Pn)	0.11	19.33	3.23	5.28
	p-Cresol(P-C)	0.03	70.23	8.17	15.31
인돌류	Indole(ID)	0.01	25.69	4.35	5.91
	Skatol(SK)	0.09	152.79	13.76	32.70
복합악취		30.00	1732.00	327.89	312.39

단위 : 각 물질별 농도(ppb) 복합악취(배)



[그림 126] 사육일 경과에 따른 복합악취 및 악취물질의 변화

- 사육일 경과함에 따라 돈사피트 내 슬러리가 축적되면서 악취(복합악취, 악취물질)가 증가하는 경향을 나타냄

- 양돈농가 악취발생원별 악취물질 모니터링 결과(n=257)
 - 양돈농가의 부지경계, 돈사내부, 돈사외부, 돈분퇴비장에서 악취(복합악취, 악취물질)를 측정하고 DB를 구축하였음
 - 악취공정 시험법에 따라 복합악취(ES 09301.b 공기희석관능법), 암모니아(ES 09302.1a, 봉산용액 흡수법), 황화합물(ES 09303.1a, 저온농축-모세관칼럼-GC)을 측정하였으며, 양

돈유래 주요 악취물질로 알려진 휘발성 지방산류 · 페놀류 · 인돌류는 TD-GC-FID를 이용하여 분석하였음

- 측정농가 정보, +3 데이터 정리

[표 24] 측정결과 기술통계(부지경계, n=78)

분류	최소값	최대값	평균	표준편차	MDL**
복합악취	3	965	42	113	-
Ammonia(NH ₃)	10.00	900.00	177.07	166.41	-
Hydrogen sulfide(H ₂ S)	MDL	282.00	9.78	34.60	0.04
Methyl mercaptan(MM)	MDL	23.90	0.82	3.57	0.06
Dimethyl sulfide(DMS)	MDL	2.14	0.11	0.25	0.06
Dimethyl disulfide(DMDS)	MDL	0.19	0.05	0.02	0.02
ACA	MDL	1272.66	40.53	181.90	0.11
PPA	MDL	402.06	17.07	62.58	0.06
IBA	MDL	311.62	7.79	36.15	0.06
BTA	MDL	48.76	1.70	5.66	0.04
IVA	MDL	94.97	4.23	13.87	0.08
VAL	MDL	88.95	3.56	11.49	0.08
Pn	MDL	75.62	2.44	8.94	0.02
P-C	MDL	141.90	2.65	16.43	0.01
ID	MDL	95.28	2.41	11.39	0.02
SK	MDL	127.13	3.01	14.52	0.01

* 단위 : 각 물질별 농도(ppb) 복합악취(배)

** MDL : Method Detection Limit

[표 25] 측정결과 기술통계(돈사내부, n=62)

분류	최소값	최대값	평균	표준편차	MDL**
복합악취	100	6694	1595.661	1537.328	-
NH ₃	558.7583	41432.74	6739.36	7127.039	-
H ₂ S	22.90	2340.00	391.36	465.14	0.04
MM	MDL	188.40	17.18	33.41	0.06
DMS	MDL	462.00	11.49	59.00	0.06
DMDS	MDL	3.49	0.20	0.59	0.02
ACA	0.17	2446.00	498.91	544.35	0.11
PPA	0.24	2109.69	371.37	384.49	0.06
IBA	0.52	1455.52	314.74	321.63	0.06
BTA	0.9	217.17	35.49	37.20	0.04
IVA	0.46	1869.40	180.01	301.54	0.08
VAL	1.58	743.69	92.88	121.52	0.08
Pn	0.06	125.72	12.29	18.61	0.02
P-C	0.04	481.20	67.41	78.75	0.01
ID	MDL	22.26	2.37	3.47	0.02
SK	0.04	34.57	4.21	5.21	0.01

* 단위 : 각 물질별 농도(ppb) 복합악취(배)

** MDL : Method Detection Limit

[표 26] 측정결과 기술통계(돈사외부, n=80)

분류	최소값	최대값	평균	표준편차	MDL**
복합악취	5	10000	948	1787	-
NH ₃	30.00	16800.00	2596.03	3273.52	-
H ₂ S	0.06	2484.00	281.00	482.10	0.04
MM	MDL	36.40	4.53	8.86	0.06
DMS	MDL	364.00	6.33	41.25	0.06
DMDS	MDL	4.28	0.12	0.50	0.02
ACA	0.38	1316.10	235.31	338.39	0.11
PPA	0.23	834.00	192.18	253.09	0.06
IBA	0.52	837.83	174.33	259.95	0.06
BTA	0.07	380.00	23.06	46.66	0.04
IVA	0.33	695.69	85.32	140.17	0.08
VAL	0.53	255.58	48.09	66.88	0.08
Pn	0.06	39.50	6.52	8.14	0.02
P-C	0.06	345.00	37.60	56.28	0.01
ID	MDL	30.60	1.83	3.86	0.02
SK	0.04	10.10	2.26	2.22	0.01

* 단위 : 각 물질별 농도(ppb) 복합악취(배)

** MDL : Method Detection Limit

[표 27] 측정결과 기술통계(퇴비장, n=37)

분류	최소값	최대값	평균	표준편차	MDL**
복합악취	5	4481	290	770	-
NH ₃	20.00	8948.73	804.73	1679.58	-

H ₂ S	0.14	574.00	73.00	145.33	0.04
MM	MDL	36.24	1.83	6.62	0.06
DMS	MDL	5.00	0.33	0.88	0.06
DMDS	0.04	8.52	0.51	1.50	0.02
ACA	0.37	173.00	12.08	30.10	0.11
PPA	0.16	49.70	4.59	9.03	0.06
IBA	0.52	61.20	4.93	11.06	0.06
BTA	0.07	20.60	1.99	3.75	0.04
IVA	0.15	6.45	1.66	1.44	0.08
VAL	0.33	15.80	2.48	3.32	0.08
Pn	0.04	9.65	1.04	1.77	0.02
P-C	0.02	105.96	4.78	17.64	0.01
ID	MDL	4.10	0.73	1.02	0.02
SK	MDL	172.45	5.15	28.27	0.01

* 단위 : 각 물질별 농도(ppb) 복합악취(배)
 ** MDL : Method Detection Limit

[표 28] 양돈농가 측정 지점 별 주요 악취물질 및 악취기여율(%)

순위	부지경계	돈사내부	돈사외부	퇴비장
1	SK(67%)	IVA(41%)	IVA(37%)	SK (72%)
2	IVA(11%)	P-C(14%)	P-C(15%)	H ₂ S(11%)
3	P-C(6%)	VAL(11%)	H ₂ S(12%)	P-C(7%)
4	VAL(4%)	H ₂ S(9%)	VAL(10%)	IVA(3%)
5	BTA(3%)	SK(9%)	SK(9%)	BTA(2%)

<양계 축사 유형 · 악취발생원별 악취 DB 구축(n=44)>

- 산란계농가 악취발생원별 악취물질 모니터링 결과(n=28)
 - 산란농가의 계사내부, 계사배기팬(배출구), 계분퇴비(챔버), 퇴비사에서 악취를 측정하고 DB를 구축하였음
 - 악취공정 시험법에 따라 지정악취물질 22종을 분석하였으며, 비지정 악취물질 6종을 추가적으로 분석하였음

[표 29] 측정결과 기술통계 (산란계)

구분	지정 악취 물질	측정지점 별 농도*(avg±sd)				최소 감지농도
		계사내부 (n=6)	계사배기팬 (n=10)	계분퇴비(챔버) (n=6)	퇴비사 (n=6)	
복합악취	○	58±58	75±54	24322±35289	33±16	-
NH ₃	○	1.93±1.99	4.88±4.57	687.91±763.27	1.92±2.61	0.1
Trimethylamine(TMA)	○	5.1±3.4	10.7±13.2	2455.8±2956	3.3±2	0.1

H ₂ S	○	4.8±7.2	3.5±4.1	12.6±24.5	0±0	0.5
MM	○	0.6±0.8	0.6±0.9	230.4±256. 2	0±0	0.1
DMS	○	0.3±0.4	0.5±0.6	458.3±980. 7	0±0	0.1
DMDS	○	0.7±1.6	0.1±0.3	131±163.4	0±0	0.3
Acetaldehyde	○	3.9±3.5	23±37.4	201.6±245	2.2±1.9	2
Propionaldehyde	○	0.2±0.3	2.5±5.5	25.7±36.4	0.2±0.4	2
Butylaldehyde	○	0±0	0±0	8.9±19.9	0±0	0.3
iso-valeraldehyde	○	0±0	0±0	25.3±46.3	0±0	0.2
n-valeraldehyde	○	0±0	0±0	0±0	0±0	0.7
Methyl ethyl keton(MEK)	○	3.9±3.4	13.3±20.8	1734.3±3379 .4	2.1±1.5	440
iso-Butyl alcohol	○	0±0	0±0	33.6±63.1	0±0	10
Methyl isobutyl keton	○	0.4±0.8	0±0	3.1±3.5	0±0	200
Toluene	○	9.8±13.3	5.3±7.8	4.2±1.4	2.1±2.1	900
Butyl acetate	○	0±0	0±0	0.5±1.2	0±0	16
Styrene	○	2.6±3.7	0.4±0.8	0.6±0.5	1.3±1.4	30
Xylene	○	23.9±34.1	9.6±13.9	0.3±0.6	39.3±42.8	380
ACA	x	15.5±9.8	18.2±12.5	18.4±3.1	3.1±3.1	5.7
PPA	○	7.2±5.1	7±5.4	11±4.9	0.6±0.9	2
IBA	x	1.1±0.7	1.1±0.9	4.7±4.6	0.2±0.3	1.5
BTA	○	2.4±1.7	2.9±3.4	8.4±7.1	1.1±2.1	0.07
IVA	○	1±0.8	0.9±0.9	9.4±9.3	0.2±0.4	0.05
VAL	○	1.1±0.7	1.1±0.9	1.7±0.1	0±0	0.1
Pn	x	0.5±0.4	0.6±0.5	92.2±116.8	0.1±0.1	0.28
P-C	x	0.8±0.7	0.8±0.6	11.4±14.4	0±0	0.054
ID	x	0.3±0.3	0.2±0.2	14.2±23.4	0.1±0.1	0.3
SK	x	1.4±1	1.3±1.2	2.7±1	0±0	0.0056

* 단위 : NH₃(ppm), 그 외 물질별 농도(ppb), 복합약취(배)

순위	계사내부	계사배기팬	계분퇴비(챔버)	퇴비사
1	SK(58%)	SK(45%)	TMA(61%)	TMA(44%)
2	TMA(12%)	TMA(21%)	NH3(17%)	NH3(26%)
3	BTA(8%)	NH3(9%)	DMS(11%)	BTA(21%)
4	IVA(5%)	BTA(8%)	MM(6%)	IVA(5%)
5	NH3(4%)	IVA(3%)	SK(1%)	Acetaldehyde(1%)

○ 육계농가 악취발생원별 악취물질 모니터링 결과(n=16)

- 산란농가의 계사내부, 계사배기팬(배출구), 계분퇴비(챔버), 퇴비사에서 악취를 측정하고 DB를 구축하였음
- 악취공정 시험법에 따라 지정악취물질 22종을 분석하였으며, 비지정 악취물질 6종을 추가적으로 분석하였음

[표 30] 측정결과 기술통계 (육계)

구분	지정 악취 물질	측정지점 별 농도*(avg±sd)		최소 감지농도
		계사내부 (n=8)	계사배기팬 (n=8)	
복합악취	○	71±90	69±70	-
NH ₃	○	3.4±3.6	2.6±1.7	0.1
Trimethylamine(TMA)	○	1.3±0.9	1.2±0.8	0.1
H ₂ S	○	0±0	0±0	0.5
MM	○	0±0	0±0	0.1
DMS	○	0±0	0±0	0.1
DMDS	○	8.7±23	7.6±20	0.3
Acetaldehyde	○	42.5±36.2	70.3±104.5	2
Propionaldehyde	○	3.2±5.6	8.1±21.5	2
Butylaldehyde	○	0±0	0±0	0.3
iso-valeraldehyde	○	0±0	0±0	0.2
n-valeraldehyde	○	0±0	0±0	0.7
Methyl ethyl keton(MEK)	○	1.4±1.2	6.1±11.3	440
iso-Butyl alcohol	○	7.9±5.9	6.9±6.3	10
Methyl isobutyl keton	○	8.2±10	22.8±25.9	200
Toluene	○	11.1±7.1	7.8±4.6	900
Butyl acetate	○	0.9±1.5	0.4±1.1	16
Styrene	○	0±0	0.3±0.9	30
Xylene	○	0.7±1.9	0±0	380
ACA	X	0.3±0.3	0.4±0.5	5.7
PPA	○	0.1±0.1	0.2±0.2	2
IBA	X	0±0	0.1±0	1.5
BTA	○	0.1±0.1	0.1±0.1	0.07
IVA	○	1.8±1.6	2.4±2.1	0.05
VAL	○	0±0	0±0	0.1
Pn	X	0±0	0±0	0.28

P-C	X	0±0	0±0	0.054
ID	X	0.3±0.5	0.2±0.1	0.3
SK	X	0±0	0±0	0.0056

* 단위 : NH₃(ppm), 그 외 물질별 농도(ppb), 복합악취(배)

[표 31] 육계농가 측정 지점 별 주요 악취물질 및 악취기여율(%)

순위	계사내부	계사배기팬
1	IVA(26%)	IVA(31%)
2	NH ₃ (25%)	Acetaldehyde(23%)
3	DMDS(21%)	NH ₃ (17%)
4	Acetaldehyde(15%)	DMDS(16%)
5	TMA(9%)	TMA(8%)

<양돈농가(육성/비육)의 악취와 생산성 관계 규명을 위한 Data set 구축>

○ 양돈농가(육성/비육)의 악취와 생산성 관계 규명 1차 시험 개요

- 목적 : 돼지 각 사육단계에서 악취수준에 따른 생산성 및 생리변화 분석
- 실험대상 : 육성·비육기 돼지 80두(암 40두, 수 40두)
- 실험기간 : 2022년 6월 13일 ~ 2022년 8월 24일(72일)
- 실험디자인 : 깨끗한 돈방(대조구), 악취가 많은 돈방(시험구) 2처리, 4반복
- 반복배치 : 체중·성별에 따른 Randomized Complete Block Design

[표 32] 악취와 생산성 관계 데이터

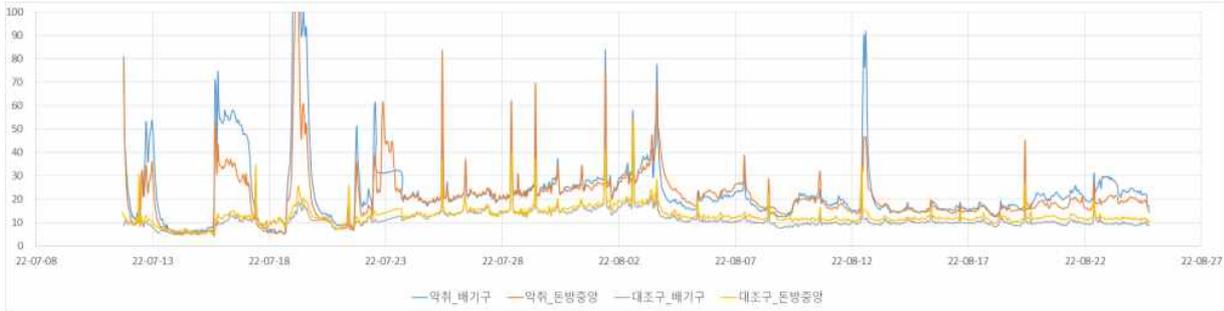
Trt	Rep				Mean
	Big_Male	Small_Male	Big_Female	Small_Female	
대조구	44.48	34.07	30.10	24.97	33.41
악취 시험구	44.45	34.07	30.05	24.87	33.36
Mean	44.47	34.07	30.08	24.92	33.38
CV	0.05	0.00	0.12	0.28	0.10
Gender	M	M	F	F	

- 분석항목 : 악취 노출 수준에 따른 사료 급이량, 체중, 혈액성분(전혈, 혈청)

○ 시험구 악취 환경 조성

- Ammonium Hydroxide(25~28%)를 수돗물로 2~5배 희석 후 피트 내 슬러리에 연속 투입(5~20ml/min)하여 암모니아 휘산 유도(2022년 7월 11일 ~ 8월 24일)

측정지점	대조구		약취 시험구	
	배기구	돈방중앙	배기구	돈방중앙
암모니아(ppm)				
평균	11.52	12.94	23.88	20.96
표준편차	3.76	4.12	21.82	12.51



[그림 127] 약취 환경 데이터

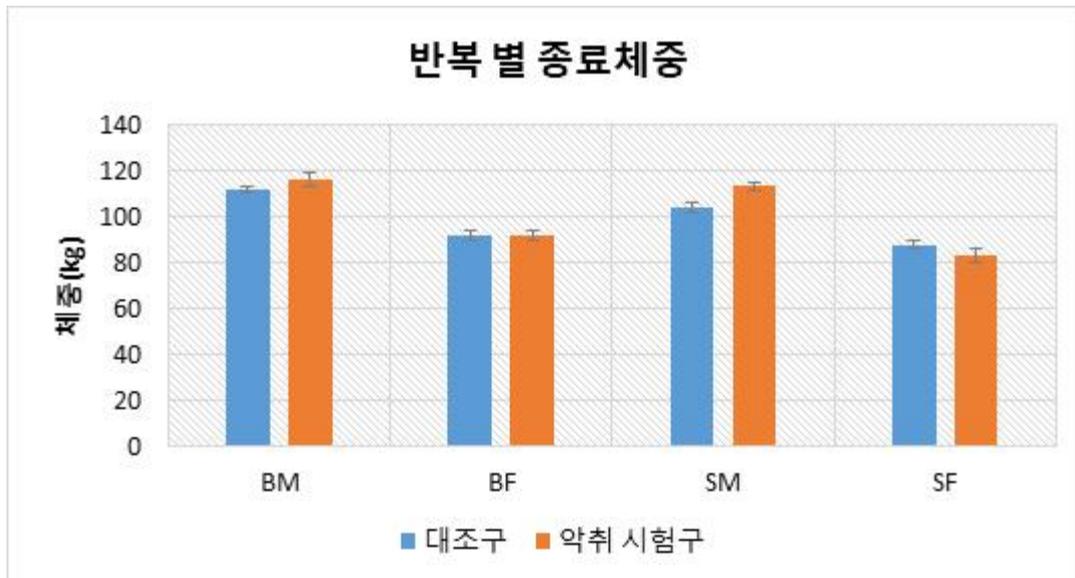
[표 33] 시험 전 기간(2022년 6월 13일 ~ 8월 24일) 시험구별 암모니아 평균농도

측정지점	대조구		약취 시험구	
	배기구	돈방중앙	배기구	돈방중앙
암모니아(ppm)				
평균	9.43	10.09	16.82	14.55
표준편차	4.62	5.39	20.48	13.71

○ 성장성적(체중)

[표 34] 반복 별 비교 결과 (체중)

반복	대조구	약취 시험구	대조구-시험구 차	p
Big_M				
개시체중(kg)	44.45	44.48	-0.03	0.988
종료체중(kg)	112.05	116.71	-4.66	0.068
일당증체량(g)	939	1003	-64	-
Big_F				
개시체중(kg)	30.05	30.10	-0.05	0.957
종료체중(kg)	91.83	92.15	-0.32	0.906
일당증체량(g)	858	862	-4	-
Small_M				
개시체중(kg)	34.07	34.07	0	1.000
종료체중(kg)	104.65	113.67	-9.02	0.018
일당증체량(g)	980	1106	-126	-
Small_F				
개시체중(kg)	24.87	24.97	-0.1	0.848
종료체중(kg)	88.18	83.50	4.68	0.193
일당증체량(g)	879	813	66	-



[그림 128] 반복 별 종료체중

- 시험구 간 종료체중 비교(Randomized block design ANOVA) 결과 유의한 차이 없음

	자유도	평균제곱	F	p	η^2
종료체중	1	99.92	2.02	0.160	0.027

* η^2 : 부분 에타제곱, 집단 간 평균 차이를 나타내는 표준치(효과의 크기, 0.01=작은효과, 0.06=중간효과, 0.14= 큰효과)

- 시험구 간 일당증체량 비교(대응표본 t-test)결과 유의한 차이 없음(p=0.493)

○ 성장성적(사료 급이량)

[표 35] 반복 별 비교 결과(사료 급이량)

반복	대조구	약취 시험구	대조구-시험구 차
Big_M			
일당 사료 섭취량(g)	2,829	2,761	68
사료 요구율(g/g)	3.01	2.75	0.26
Big_F			
일당 사료 섭취량(g)	2,283	2,286	-3
사료 요구율(g/g)	2.66	2.65	0.01
Small_M			
일당 사료 섭취량(g)	2,669	2,738	-69
사료 요구율(g/g)	2.72	2.48	0.25
Small_F			
일당 사료 섭취량(g)	2,407	2,155	252
사료 요구율(g/g)	2.74	2.65	0.09

- 일당 사료 섭취량과 사료요구율에 대한 시험구 간 비교 결과(대응표본 t-test) 모두 유의한 차이 없음(p=0.437, p=0.088)

○ 육성·비육기 종료 시 혈액성상(전혈)

[표 36] 반복 별 비교 결과(t-test)

반복	대조구	약취 시험구	p
Big_M			
RBC	7.05	6.27	0.208
HCT	39.20	34.83	0.190
HGB	12.03	11.13	0.318
MCV	55.60	55.67	0.982
MCH	17.07	17.77	0.407
MCHC	30.73	31.97	0.061
WBC	18.60	15.77	0.308
%NEU	23.33	30.40	0.290
%LYM	67.13	59.70	0.316
%MONO	5.17	5.20	0.943
%EOS	4.30	4.60	0.791
%BASO	0.07	0.10	0.423
NEU	4.33	4.78	0.750
LYM	12.50	9.45	0.177
MONO	0.96	0.80	0.090
EOS	0.80	0.74	0.802
BASO	0.01	0.01	0.423
PLT	298.00	191.67	0.166
Big_F			
RBC	7.86	6.53	0.110
HCT	40.37	35.80	0.120
HGB	12.63	11.17	0.127
MCV	51.53	54.93	0.221
MCH	16.13	17.17	0.219
MCHC	31.27	31.17	0.539
WBC	16.81	19.59	0.109
%NEU	24.33	18.63	0.187
%LYM	45.70	73.20	0.292
%MONO	3.57	4.73	0.213
%EOS	4.67	3.40	0.045
%BASO	0.07	0.03	0.519
NEU	4.11	3.63	0.537
LYM	11.31	14.36	0.070
MONO	0.61	0.93	0.139
EOS	0.79	0.67	0.317
BASO	0.01	0.01	1.000
PLT	209.33	285.67	0.039
Small_M			
RBC	7.40	7.12	0.802
HCT	42.17	35.30	0.346
HGB	12.97	11.05	0.308
MCV	56.93	49.65	0.215
MCH	17.57	15.50	0.074
MCHC	30.90	31.30	0.664
WBC	15.33	19.90	0.038
%NEU	29.40	22.00	0.183
%LYM	61.10	69.45	0.009
%MONO	4.13	4.50	0.355

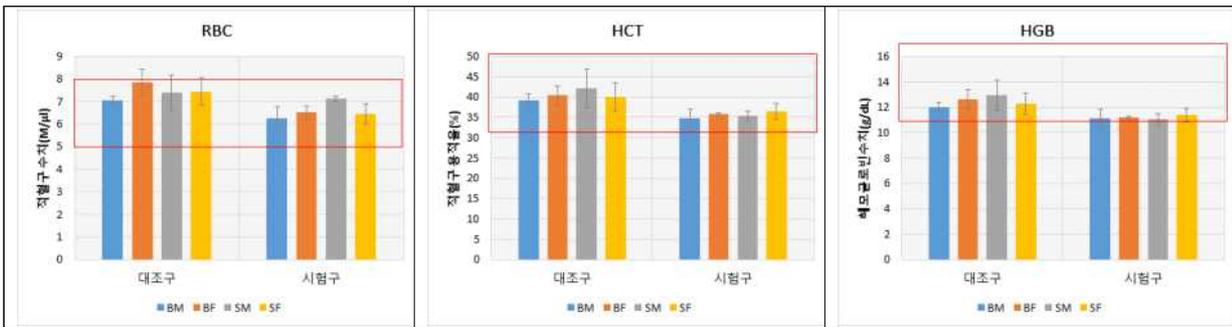
	%EOS	5.30	4.05	0.477
	%BASO	0.07	0.00	0.219
	NEU	4.51	4.40	0.908
	LYM	9.36	13.81	0.007
	MONO	0.63	0.90	0.015
	EOS	0.82	0.79	0.909
	BASO	0.01	0.00	0.219
	PLT	289.33	371.00	0.134
<hr/>				
Small_F	RBC	7.44	6.45	0.261
	HCT	40.03	36.47	0.418
	HGB	12.27	11.37	0.424
	MCV	54.07	56.70	0.323
	MCH	16.53	17.70	0.169
	MCHC	30.60	31.20	0.349
	WBC	22.42	18.87	0.328
	%NEU	26.13	31.23	0.496
	%LYM	67.63	60.67	0.360
	%MONO	3.77	3.50	0.609
	%EOS	2.43	4.53	0.003
	%BASO	0.03	0.07	0.519
	NEU	5.85	6.00	0.941
	LYM	15.19	11.35	0.181
	MONO	0.83	0.66	0.245
	EOS	0.54	0.85	0.040
	BASO	0.01	0.01	0.768
	PLT	221.67	309.33	0.229

- 시험구 간 비교 결과(Randomized block design ANOVA) 적혈구(RBC), 적혈구 용적율(HCT), 헤모글로빈(HGB) 항목에서 유의적인 차이를 나타냄($p < 0.05$)

[표 37] 시험구 간 비교 결과

	자유도	평균제곱	F	p	η^2
RBC	1	4.34	6.47	0.020	0.265
HCT	1	127.80	7.28	0.015	0.288
HGB	1	9.09	7.07	0.016	0.282
MCV	1	0.03	0.00	0.961	0.000
MCH	1	0.61	0.54	0.471	0.029
MCHC	1	1.66	4.11	0.058	0.186
WBC	1	0.00	0.00	0.993	0.000
%NEU	1	0.12	0.00	0.959	0.000
%LYM	1	154.44	0.69	0.419	0.037
%MONO	1	0.59	1.27	0.274	0.066
%EOS	1	0.01	0.00	0.947	0.000
%BASO	1	0.00	0.06	0.815	0.003
NEU	1	0.00	0.00	0.990	0.000
LYM	1	0.03	0.00	0.951	0.000
MONO	1	0.02	0.46	0.505	0.025
EOS	1	0.00	0.07	0.799	0.004
BASO	1	0.00	0.17	0.687	0.009
PLT	1	5971.97	1.13	0.303	0.059

* η^2 : 부분 에타제곱, 집단 간 평균 차이를 나타내는 표준치(효과의 크기, 0.01=작은효과, 0.06=중간효과, 0.14= 큰효과)



* 빨간 박스는 정상범위를 나타냄

[그림 129] 시험구 간 적혈구(RBC), 적혈구 용적율(HCT), 헤모글로빈(HGB) 비교

○ 육성·비육기 종료 시 혈액성상(혈청)

[표 38] 반복 별 비교 결과(t-test, 혈청)

반복	대조구	약취 시험구	p
Big_M			
TP	194.33	161.33	0.572
ALB	6.77	6.57	0.566
AST	3.87	3.87	1.000
ALT-S	27.67	33.00	0.664
GGT-S	53.33	42.00	0.254
CREA	37.67	63.67	0.302
GLU-S	2.05	2.08	0.857
LD	89.00	85.33	0.704
CHO-S	434.67	449.00	0.904

TG-S	93.67	94.67	0.920
UN-S	62.00	68.67	0.468
IP	12.67	9.53	0.013
T-BIL	7.20	7.60	0.407
CK-S	0.04	0.04	0.842
CA-S	2135.00	1887.33	0.817
MG	12.83	12.27	0.493
NEFA	2.30	2.17	0.184
AMY	0.05	0.06	0.374
LIP-S	2035.00	2306.00	0.688
ALPIF	5.43	4.53	0.342

Big_F

TP	120.00	145.00	0.451
ALB	6.17	5.87	0.685
AST	3.50	2.97	0.304
ALT-S	29.33	31.67	0.874
GGT-S	34.67	34.67	1.000
CREA	33.00	30.33	0.374
GLU-S	1.71	1.64	0.729
LD	99.00	90.33	0.382
CHO-S	404.33	330.67	0.368
TG-S	91.00	89.33	0.830
UN-S	41.33	48.00	0.544
IP	7.70	9.97	0.074
T-BIL	7.23	6.93	0.683
CK-S	0.05	0.06	0.275
CA-S	1793.00	919.67	0.256
MG	11.80	11.63	0.823
NEFA	2.03	1.93	0.624
AMY	0.04	0.04	0.725
LIP-S	2737.33	2313.33	0.661
ALPIF	5.70	5.17	0.796

Small_M

TP	174.67	260.50	0.198
ALB	6.67	5.65	0.061
AST	3.63	3.05	0.450
ALT-S	24.33	25.50	0.758
GGT-S	40.67	44.00	0.293
CREA	44.67	32.50	0.492
GLU-S	2.03	1.68	0.086
LD	87.00	106.00	0.037
CHO-S	397.33	372.50	0.707
TG-S	80.33	102.50	0.095
UN-S	60.00	44.00	0.303
IP	10.07	11.05	0.764
T-BIL	7.10	7.50	0.295
CK-S	0.05	0.05	1.000
CA-S	1803.67	1504.50	0.688
MG	11.93	12.15	0.538
NEFA	2.13	2.05	0.692
AMY	0.05	0.05	0.789
LIP-S	2012.67	2899.50	0.318
ALPIF	4.90	6.05	0.615

Small_F

TP	137.00	116.00	0.019
ALB	6.40	6.60	0.743
AST	3.70	3.70	1.000
ALT-S	26.33	34.67	0.200
GGT-S	35.00	41.00	0.101
CREA	30.33	48.67	0.047
GLU-S	1.58	1.97	0.055
LD	101.67	92.67	0.284
CHO-S	392.33	467.67	0.225
TG-S	105.33	99.00	0.546
UN-S	51.00	64.67	0.590
IP	7.60	11.13	0.023
T-BIL	7.47	7.77	0.489
CK-S	0.06	0.05	0.288
CA-S	2084.67	3854.33	0.191
MG	13.03	12.53	0.449
NEFA	2.13	2.37	0.218
AMY	0.04	0.06	0.067
LIP-S	3637.33	2517.00	0.215
ALPIF	4.10	5.37	0.023

[표 39] 시험구 간 비교 결과(Randomized block design ANOVA)

	자유도	평균제곱	F	p	η^2
TP	1	0.49	1.36	0.259	0.070
ALB	1	0.39	1.74	0.204	0.088
AST	1	113.19	0.93	0.347	0.049
ALT-S	1	2.81	0.04	0.841	0.002
GGT-S	1	402.53	1.55	0.230	0.079
CREA	1	0.00	0.04	0.854	0.002
GLU-S	1	14.85	0.13	0.718	0.007
LD	1	5.90	0.00	0.979	0.000
CHO-S	1	45.48	0.36	0.555	0.020
TG-S	1	79.59	0.28	0.600	0.016
UN-S	1	4.71	1.01	0.329	0.053
IP	1	0.20	0.65	0.432	0.035
T-BIL	1	0.00	0.06	0.814	0.003
CK-S	1	66139.65	0.05	0.826	0.003
CA-S	1	0.44	0.86	0.366	0.046
MG	1	0.00	0.05	0.829	0.003
NEFA	1	0.00	3.73	0.069	0.172
AMY	1	125504.85	0.15	0.703	0.008
LIP-S	1	0.22	0.08	0.775	0.005
ALPIF	1	621.10	0.25	0.620	0.014

* η^2 : 부분 에타제곱, 집단 간 평균 차이를 나타내는 표준치(효과의 크기, 0.01=작은효과, 0.06=중간효과, 0.14= 큰효과)

- 유의적인 차이를 나타내는 항목은 없었음

- 양돈농가(육성/비육)의 악취와 생산성 관계 규명 2차 시험 개요(진행중)
 - 목적 : 돼지 각 사육단계에서 악취수준에 따른 생산성 및 생리변화 분석
 - 실험대상 : 거세돈 80두
 - 실험기간 : 2022년 9월 26일 ~ 진행중
 - 실험디자인 : 깨끗한 돈방(대조구), 악취가 많은 돈방(시험구) 2처리, 4반복
 - 반복배치 : 체중에 따른 Randomized Complete Block Design

Summary of Animal Allotment

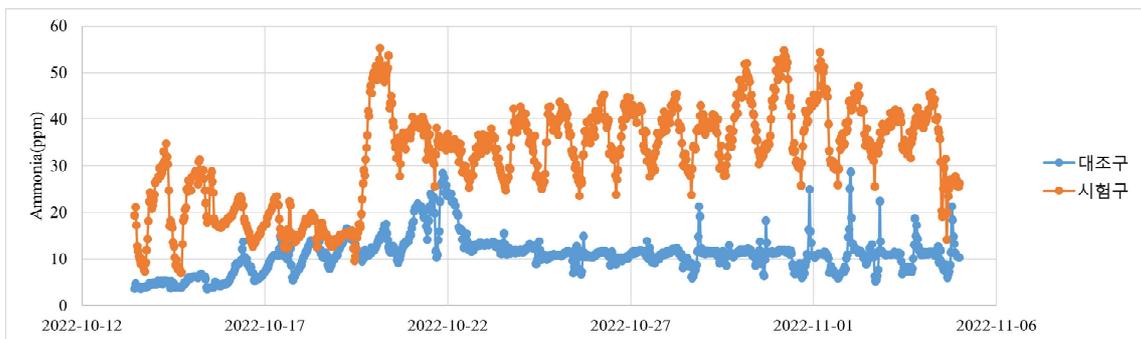
Trt	Rep				Mean
	1	2	3	4	
대조구	32.10	28.70	25.70	22.65	27.29
악취 시험구	31.95	28.70	25.60	22.50	27.19
Mean	32.03	28.70	25.65	22.58	27.24
CV	0.33	0.00	0.28	0.47	0.26
Gender	M	M	M	M	

- 분석항목 : 악취 노출 수준에 따른 사료 급이량, 체중, 혈액성분(전혈, 혈청)

○ 시험구 악취 환경 조성

- Ammonium Hydroxide(25~28%)를 수돗물로 0.5배 희석 후 피트 내 슬러리에 연속 투입 (1ml/min)하여 암모니아 휘산 유도
- 육성기 시험 기간(2022년 9월 26일 ~ 11월 4일) 시험구별 암모니아 평균농도

측정지점	암모니아(ppm)	
	대조구	악취 시험구
평균	10.88	31.95
표준편차	4.20	10.76



[그림 130] 시험구별 암모니아 평균농도

○ 육성기 성장성적(체중)

- 반복 별 비교 결과

반복	대조구	약취 시험구	대조구-시험구 차	p
1				
개시체중(kg)	32.10	31.95	0.15	0.809
종료체중(kg)	72.10	69.00	3.1	0.149
일당증체량(g)	1026	950	76	-
2				
개시체중(kg)	28.70	28.70	0	1.000
종료체중(kg)	67.00	66.05	0.95	0.636
일당증체량(g)	982	958	24	-
3				
개시체중(kg)	25.70	25.60	0.1	0.828
종료체중(kg)	59.50	55.80	3.7	0.198
일당증체량(g)	867	774	92	-
4				
개시체중(kg)	22.65	22.50	0.15	0.804
종료체중(kg)	57.10	54.40	2.7	0.351
일당증체량(g)	883	818	65	-

- 시험구 간 일당증체량 비교(대응표본 t-test)결과 유의한 차이가 있는 것으로 나타남 (p=0.022)

○ 육성기 성장성적(사료 급이량)

[표 39] 반복 별 비교 결과 (사료 급이량)

반복	대조구	약취 시험구	대조구-시험구 차
1			
일당 사료 섭취량(g)	2,421	2,421	0
사료 요구율(g/g)	2.36	2.55	-0.19
2			
일당 사료 섭취량(g)	2,369	2,421	-51
사료 요구율(g/g)	2.41	2.53	-0.11
3			
일당 사료 섭취량(g)	2,118	2,421	-303
사료 요구율(g/g)	2.44	3.13	-0.68
4			
일당 사료 섭취량(g)	2,067	2,156	-90
사료 요구율(g/g)	2.34	2.64	-0.30

- 일당 사료 섭취량과 사료요구율에 대한 시험구 간 비교 결과(대응표본 t-test) 일당 사료 섭취량은 유의적인 차이가 없었으며(p=0.194), 사료요구율 역시 유의적인 차이를 나타내지 않음(p=0.086)

○ 육성기 약취 수준에 따른 혈액성분 비교 결과 분석 중

○ 비육기 시험 진행 예정

○ 사육일 경과에 따른 양돈 슬러리 미생물 군집 변화 분석 중

5) 제 4 공동연구기관: 군산대학교

○ 거품제조기 기본설계 및 1차 제작

- 거품제조기의 구성요소인 거품탱크, 고압컴프레샤, 액체펌프 등의 적절한 배치를 결정하고 기초설계 수행
- 거품제와 공기를 거품제조기로 이송하여 거품을 생성 및 발생하는 장치를 시현 함
- 1차 제작에서의 주안점은 공기와 유체와의 혼합을 통해 거품제조장치에서 연속 거품제조 가능성을 평가하였음. 평가결과 거품의 연속제조는 성공적임. 그러나 플라스틱 재질의 거품탱크를 사용하다 보니 leaking이 발생하는 등 보완해야 할 사항을 확인함

단계	1단계 거품제조기 제작 세부사항
거품제조장치 기초설계	
1차 거품제조기 제작	

[그림 130] 거품제조장치 설계 및 1차 제작

○ 거품제조기 2차 제작

- 거품탱크를 SUS재질로 변경하였고 fitting도 sus를 포함한 견고한 재질로 변경하여 leaking 방지하였음.
- Liquid 펌프는 초기 실험실용 펌프에서 현장 연속 가동이 될 수 있는 사양으로 변경하였음.
- 액체저장조를 대용량 용기에서 20L 단위로도 활용할 수 있게 변경하여 차후 현장에서의 적용 및 활용성을 높이고자 하였음.



[그림 131] 거품제조장치

○ 돈사 pit 거품도포에 적합한 살포기 설계 및 제작

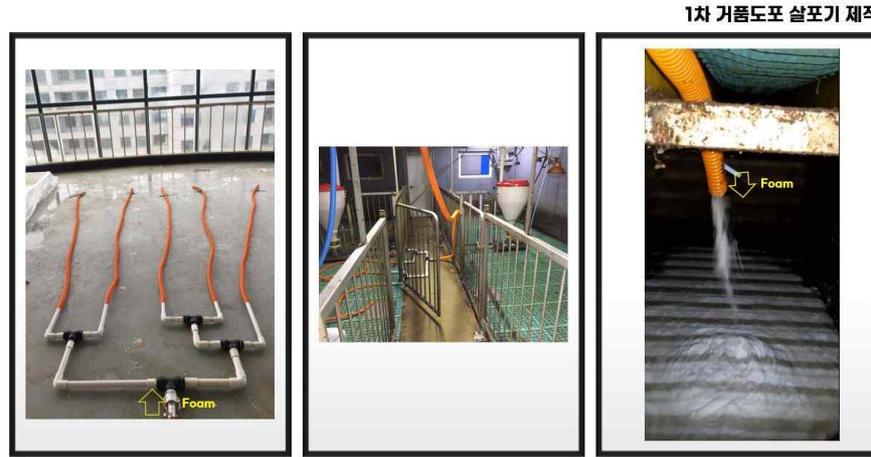
- 슬러리피트에 다수의 분배관을 통해 거품이 분배될 수 있도록 그림과 같이 제작하였음.
- 그러나 제조된 거품분배가 균등하게 일어나지 않아 수정이 필요하였음.
- 또한 1차 제조된 살포기의 경우 플라스틱 파이프로 단순하게 뿌릴 수 있도록 제작하였음.
- 1차 거품 살포기 테스트 결과 넓은 면적을 도포해야 하는 목적달성에는 적합하지 않아 수정 필요. 1차형 살포기가 슬러리 피트에 곧바로 발사되어 초기에 잠잠했던 슬러리를 교란시키는 문제점 발생.

○ 거품분배/살포기 2차 제작

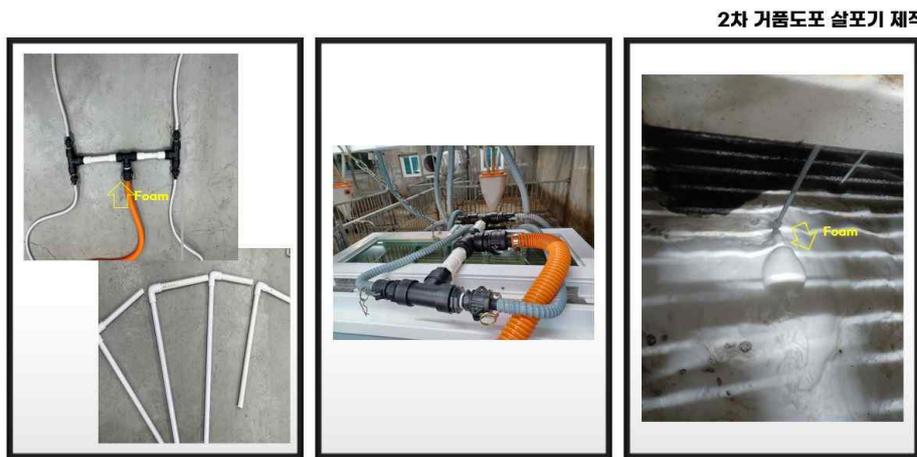
- 1차 거품도포 살포기를 개선하고자 분배관을 네 곳으로 균등하게 분배되도록 제작하였음. 네곳으로 균등하게 분배 됨으로써 1차때 발생했던 불균등 분배 문제는 해결함
- 2차 거품살포기도 'L' 자 형태로 제작하여 거품이 수평으로 살포될 수 있도록 제작함. 수평으로 살포된 거품이 슬러리피트 상부에 살포시 도포될 수 있도록 하였음.

○ 거품분배/살포기 3차 제작

- 분배관은 2차때 시도한 4군데 분배관을 그대로 유지하였고 살포기부분을 변경하였음. 변경한 이유는 L자 살포기가 수평으로 분배 되는 것은 가능하나 일부 좌 우 및 뒷부분 지역에는 살포되지 못하는 문제점 발견함.
- 본 연구는 L자 거품도포 살포기를 ‘T’ 자 형태로 개선하여 거품이 양방향으로 살포될 수 있도록 개선하였음.



[그림 132] 1차 거품도포 살포기 제작



[그림 133] 2차 거품도포 살포기 제작

3차 거품도포 살포기 제작



[그림 134] 돈사 슬러리피트 거품도포용 거품분배 및 살포기 제작 변천(1,2,3차) 과정

○ 최적 거품살포방법 및 운전방안 제시: 운전주기, 유체 및 공기유량 등

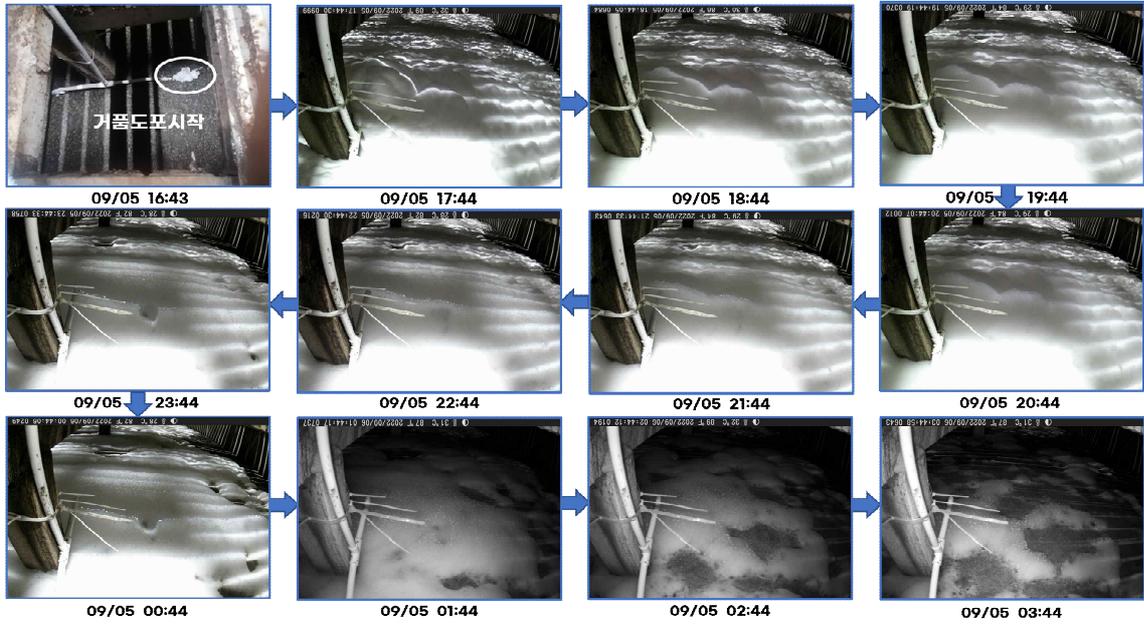
- 슬러리피트 거품살포 및 운전 방법 결정 과정

- (국립축산과학원 Test-Bed 슬러리피트에서 직접 평가) 본 연구는 앞 절에서 결정한 슬러리피트용 거품 분배 및 살포장치를 활용하여 거품도포 시험을 수행하였음.
- 거품도포과정은 CCTV를 기록하여 가장 효과적인 거품제조 유량 및 운전시간 등을 결정하였음.
- test-bed에서 실험을 통해 검증된 거품 도포 전후, 실시간으로 기록되는 복합악취 측정기 결과를 기반으로 악취 저감 효율 및 악취 저감 시간에 따라 거품 살포기 운전 주기 최적화를 결정하였고, 이러한 결과값을 실증 농가에 적용함.

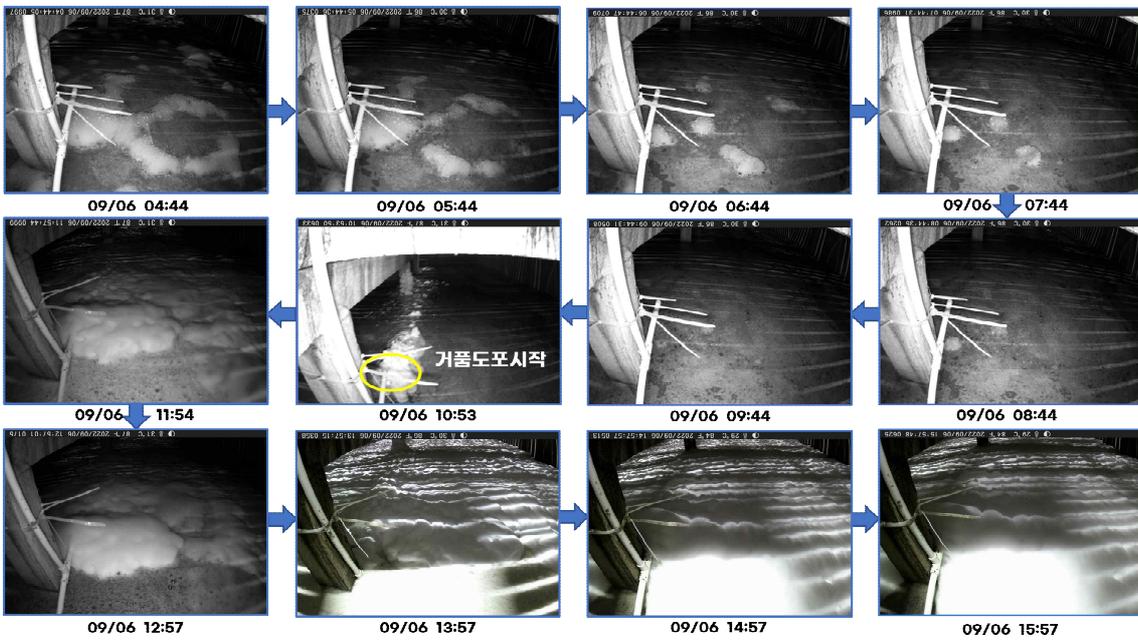
- 추후, 개별 악취물질에 대한 제어 기술 개발을 위하여 다종의 미생물을 활용한 생분해 실험을 진행할 예정임.

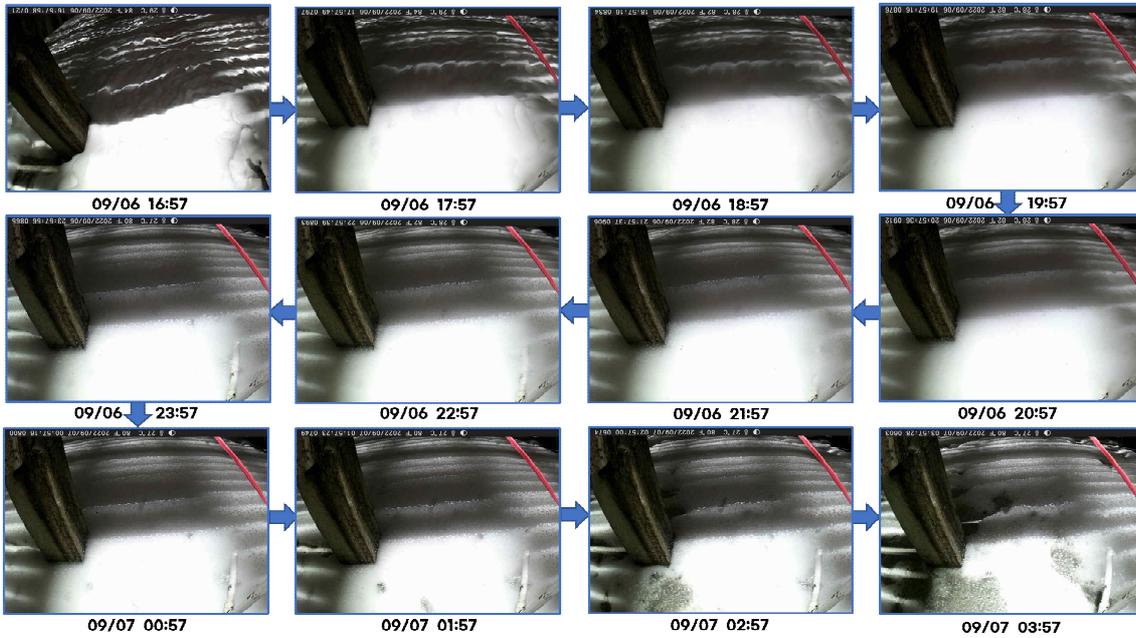
- 거품살포 운전주기 및 유량 결정

- CCTV를 활용하여 PIT내 거품의 변화를 지속적으로 관찰하였음. 유체 및 공기유량을 조절하여 현장에서 테스트 한 결과 유체 2.5L/min, 공기 200L/min로 사용하였을 때 지속시간이 거의 13시간으로 가장 좋은 것으로 결과 얻음.
- 13시간의 거품 지속시간이 유지될 수 있으므로 거품도포주기는 1일 2회로 결정됨.

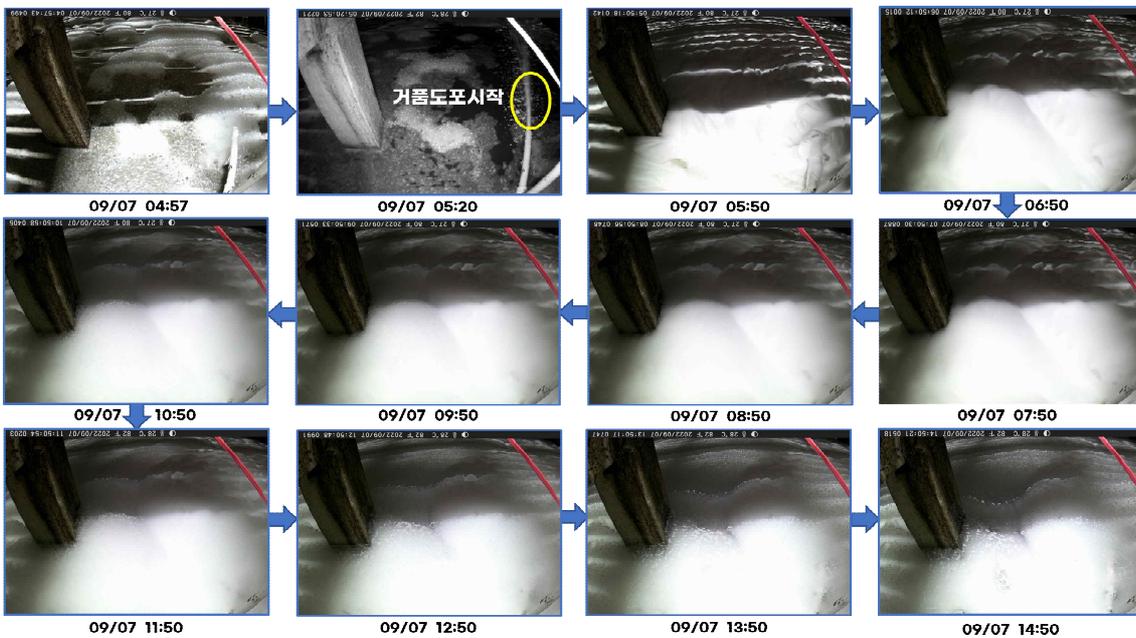


[그림 135] 슬러리피트 상부 도포된 거품의 11시간 지속 사진(2022.09.05.)

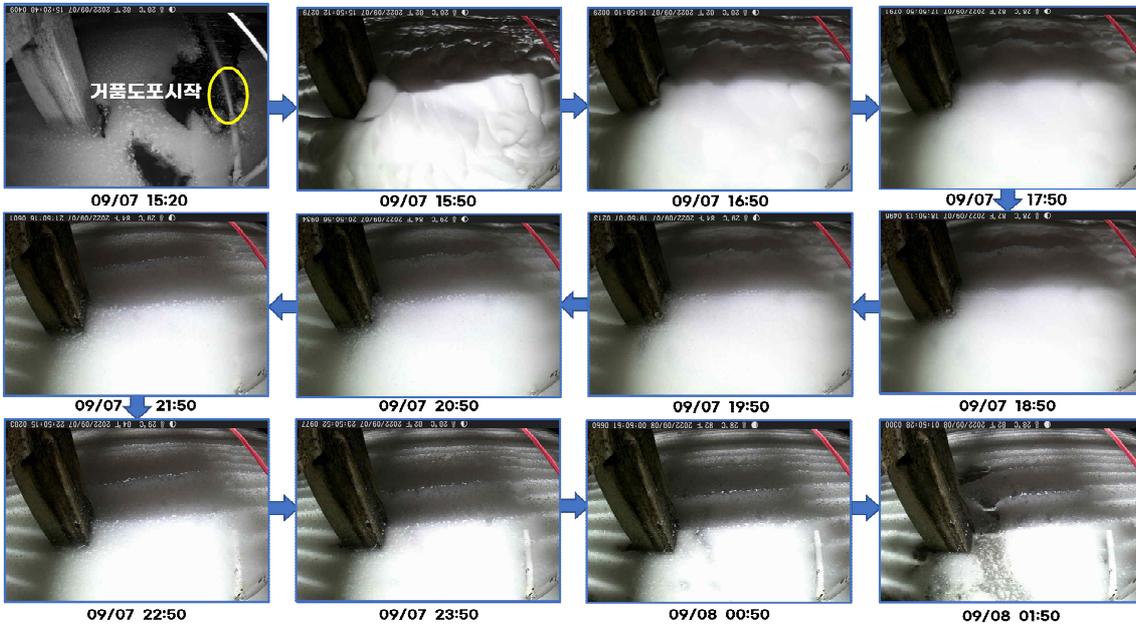




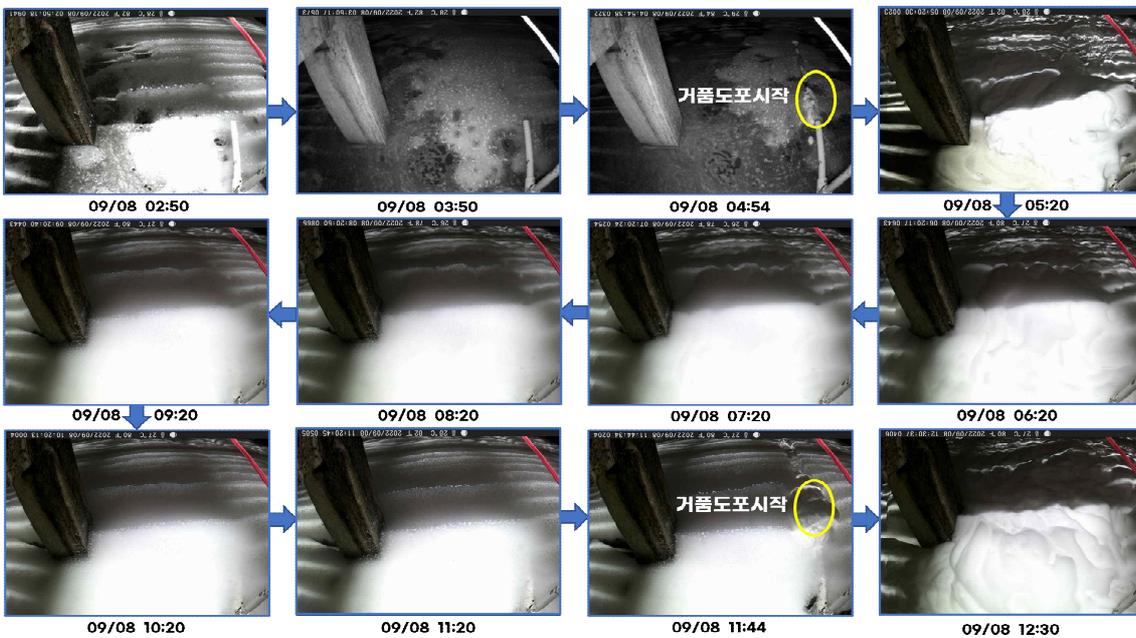
[그림 136] 슬러리피트 상부 도포된 거품의 13시간 지속 사진(2022.09.07.)



[그림 137] 슬러리피트 상부 도포된 거품의 9시간 지속 사진 (2022.09.07.)



[그림 138] 슬러리피트 상부 도포된 거품의 13시간 지속 사진 (2022.09.07.)



[그림 138] 슬러리피트 상부 도포된 거품의 13시간 지속 사진 (2022.09.08.)

○ 돈사 슬러리 pit내 거품도포 실증시험

- 국립축산과학원 Test-Bed 슬러리 피트 거품도포 시험 (1차)

- NIAS 슬러리 피트에 대한 두 번째 현장 실증은 2022년 3월 14-17일에 수행됨. 2개의 실험 블록을 포함하는 치수 7x6x4 m³의 실험 현장을 조사함.



[그림 139] 돈방 내 배치도

- 거품 발생은 첫 번째 현장 실험에서 발생된 것과 동일하며, 아래 그림과 같이 거품 전달 튜브에 약간의 수정이 이루어짐



[그림 140] 거품 도포 실험 사진

○ 가스농도 측정방법

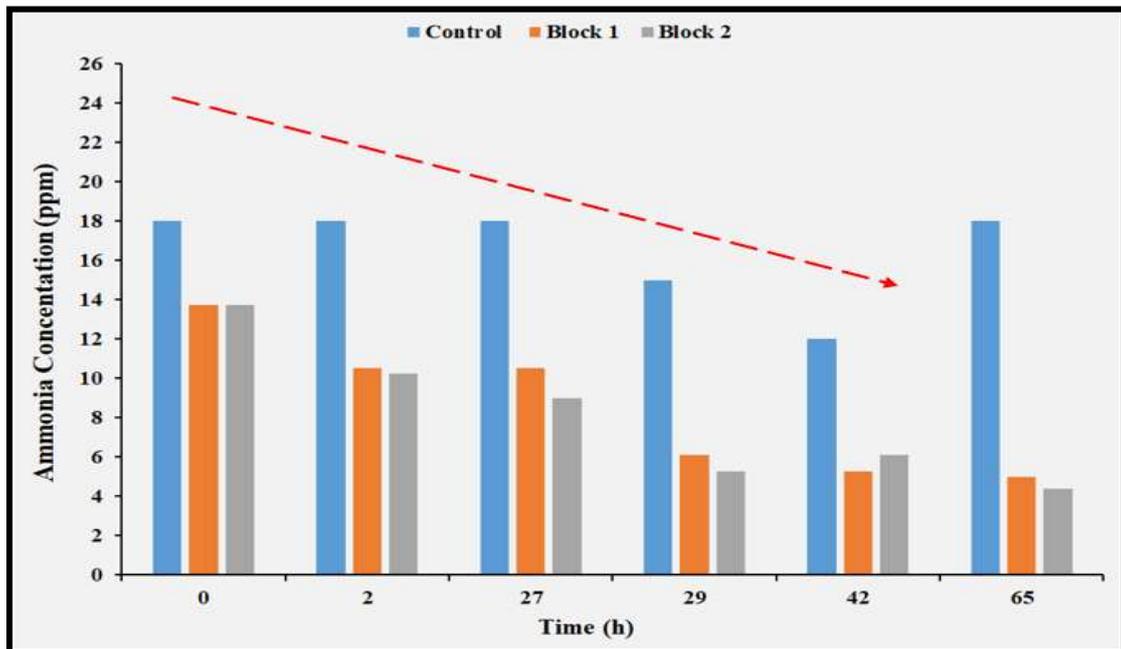
- (GASTEC 측정) 냄새 유발 가스의 농도를 측정하기 위해 동일한 Gastec이 사용됨. 농도는 슬러리 바로 위에서 측정되었고 배경 농도는 슬러리에서 대략 2m 이상으로 측정됨.
- (Ammonia sensor 자동 측정) 국립축산과학원 보유 INNOVA NH3 자동측정시스템을 이용하였음.



[그림 141] INNOVA를 이용한 가스 분석

○ 슬러리피트 거품도포 실증시험 결과

- (GASTEC 측정) 이 기간 동안 슬러리 위의 황화수소와 메르캅탄은 처음 방문 전과 유사한 검출 수준 이하로 검출됨. 암모니아의 초기 농도를 측정함. 실험 셀에 걸쳐 균일한 암모니아 농도가 없는 것으로 관찰됨. 암모니아의 초기 배경 농도는 5ppm으로 측정됨.

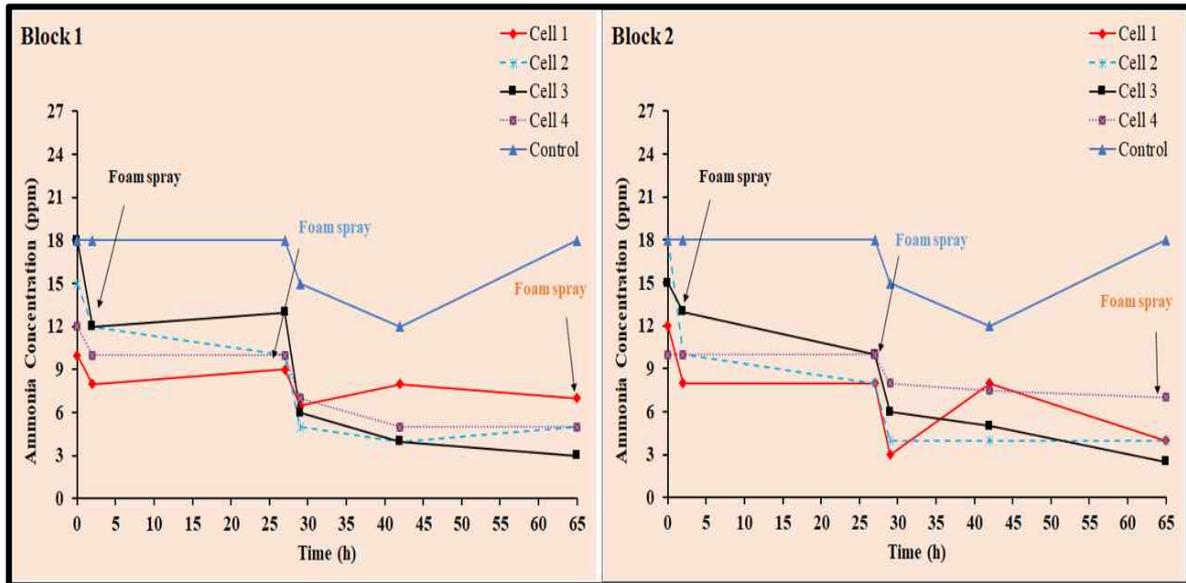


[그림 142] 그림 시간에 따른 슬러리 피트 블록의 암모니아 평균 농도 (GASTEC 평균 결과)

- 국립축산과학원 Test-bed에 두 개 방(Control 방과 거품도포방)을 운영하였고 슬러리피트 상부에서 암모니아농도를 측정함.
- Control방의 암모니아 농도는 18 ppm 정도를 계속 유지하였음.
- 거품도포방의 좌측 Block1과 우측 Block2의 초기 암모니아 농도는 control보다는 낮게

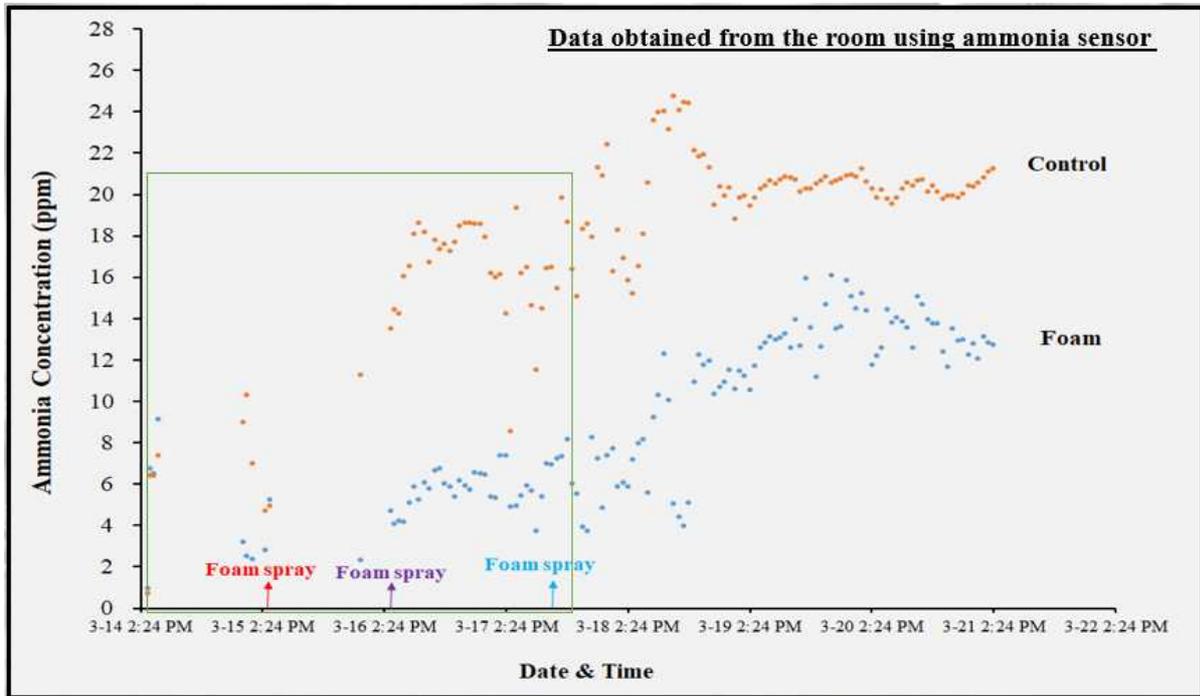
13-14 ppm 정도로 시작하였음.

- 거품도포이후 암모니아 농도는 점차 감소하는 것으로 나타났으며 65시간 경과후 이 방의 배경농도인 5ppm정도 유지하였음.



[그림 143] 시간에 따른 암모니아 농도의 변화 (거품 살포 시간 표시)
(각 슬러리피트 cell 별 GASTEC결과)

- 여기서 컨트롤은 거품 분무 실험에 사용되지 않은 실내에서 취한 암모니아의 농도를 나타냄. 거품 살포실을 모사하여 같은 시간 간격으로 유사한 방법으로 농도를 측정함.
- (암모니아 센서 자동 측정) 암모니아 농도의 완화는 처음보다 매우 효과적인 것으로 나타냄. 평균적으로 이러한 바이오폼의 물리적 억제로 인해 암모니아 배출의 거의 62%가 차단됨. 계면활성제 거품은 거품이 부서진 후 144시간까지 약 36% 암모니아 방출을 캡슐화하는 미세 기포의 얇은 층으로 지속됨.



[그림 144] 암모니아 센서를 이용하여 실험장에서 얻은 데이터
(연속 자동측정결과)

- 국립축산과학원 NH3 자동연속측정시스템에서도 유사한 결과를 얻음
- 거품이 도포된 3일간 슬러리피트에서 직접 발생하는 암모니아 농도는 8 ppm을 초과하지 않았음. 거품 도포 직후에 거품도포방 내부 암모니아 농도는 5 ppm이하의 농도를 보임.
- 거품도포가 중지된 이후에도 미세거품입자들이 여전히 슬러리피트 상부에서 암모니아 발생 가스를 억제하는 capping효과를 보여주는 것으로 나타남
- 슬러리 피트 내에서 진행한 단일 농도의 암모니아 노출 환경에서의 악취 저감 기술 실험과 동일한 조건으로 실제 돈방에서의 측정 악취 농도별 환경에서의 악취 저감 기술 실증을 진행할 예정임.

○ 슬러리 피트 탱크 거품도포 시험

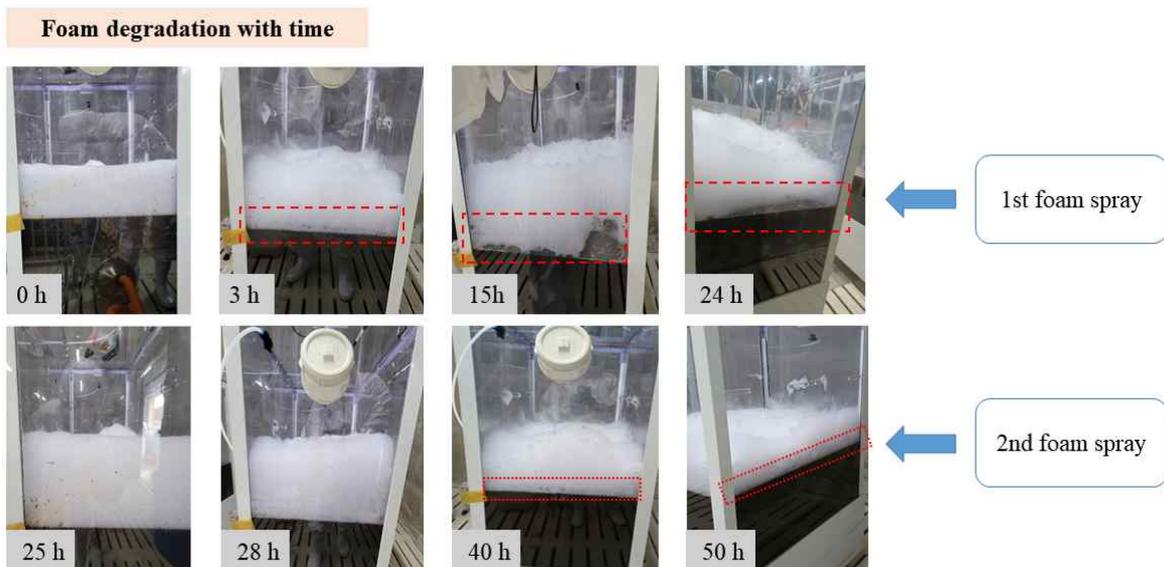
- 1m 높이 슬러리 탱크에 슬러리 30cm를 채우고 거품도포시험을 진행하였음. 거품도포는 1일 1회 3일동안 진행되었고 시간경과에 따른 암모니아 발생 농도를 측정하였음. 1회 도포된 거품의 높이는 20 cm 였음.



[그림 145] 슬러리탱크

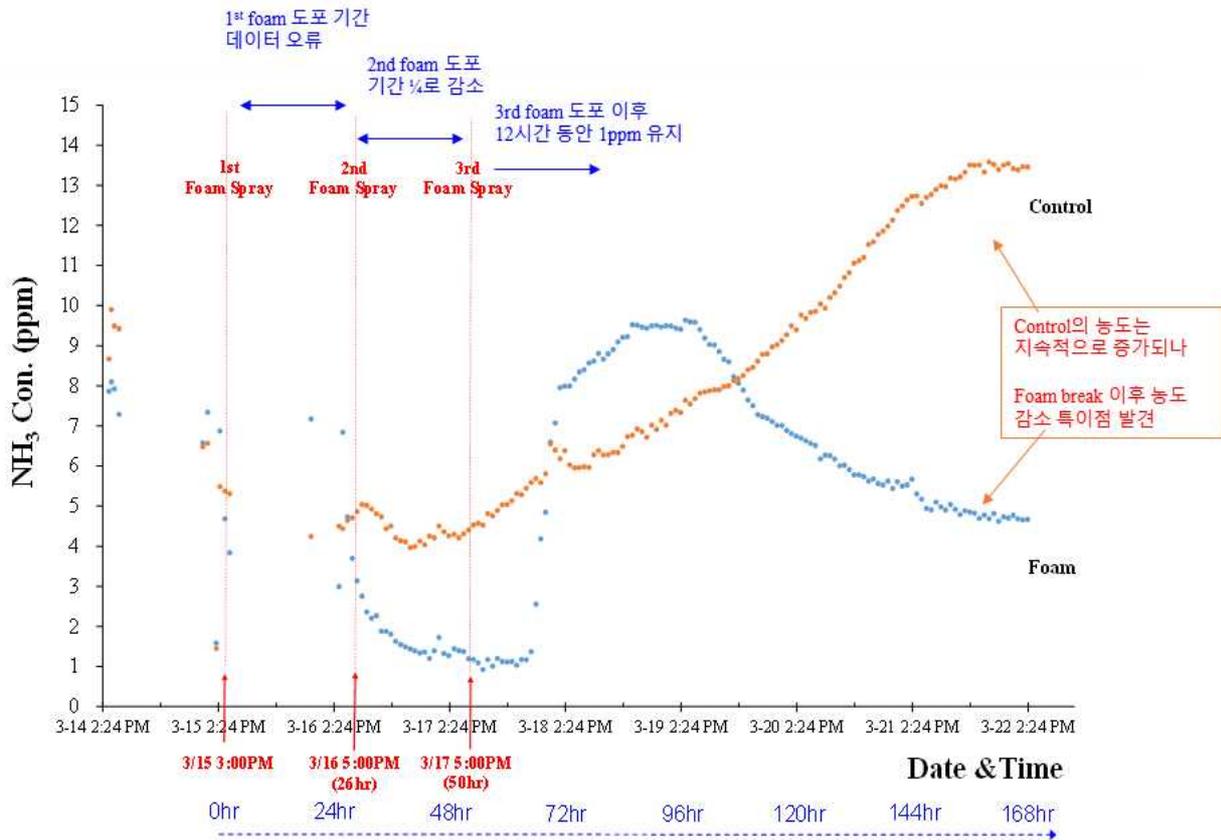
○ 거품도포 후 지속시험 결과

- 슬러리 시험탱크에 도포된 거품은 24시간동안 지속하는 것으로 나타남. 그러나 본 연구에서는 1일 1회 3일간 거품을 20 cm높이로 도포하여 시험을 진행하였음.



[그림 146] 슬러리탱크 내부 거품 지속시간

○ 슬러리탱크 암모니아 발생 농도 측정결과



[그림 147] 슬러리피트 발생 암모니아 자동측정 결과

- 첫 거품이 도포된 1일 동안 자동측정시스템의 오류로 인하여 농도가 얻어지니 않아 직접적 비교는 할수 없었음
- 그러나 2일째 거품도포된 후 암모니아는 1/4로 감소하였고 이농도는 1일동안 유지되었음
- 3차 거품도포후 12시간동안 1ppm이 유지되는 것으로 확인됨
- control탱크로부터 발생하는 암모니아 농도는 지속적으로 증가하나 거품도포된 탱크의 농도는 거품이 사라진 후에도 감소하고 있음
- 이는 미세한 거품입자가 슬러리 표면에서 capping효과를 나타내는 것으로 보이고 또한 거품과 함께 섞여있는 암모니아 분해 미생물이 표면 암모니아를 생분해 한 것으로 판단하고 있음
- 폼 스프레이 후 24시간 이내에 아크릴 탱크 내부에 약간의 데이터 오류가 있었음. 즉, 데이터가 시간에 따라 연속적으로 기록되지 않음. 그러나 이 기간 내에 기록된 데이터를 기반으로 약 30-45% 암모니아 배출이 억제되었음. 2차 포말 살포 후에는 75~80%의 암모니아 가 억제되었고, 3차 살포 후에는 억제율이 90% 이상으로 14시간까지 지속됨. 그 후 방출은 더 이상 억제가 관찰되는 동안 거품의 완전한 파괴로 인해 현저하게 발생함 (계면활성제 거품 내부에 암모니아가 갇힐 수 있음). 이것은 미세 기포에 의한 슬러리 레벨의 캡슐화 때문임.

○ 국립축산과학원 Test-Bed 슬러리 피트 거품도포 시험 (2차)

- NIAS 슬러리 피트에 대한 현장 실험은 2022년 9월 5-08일에 수행되었습니다. 2개의 실험 블록을 포함하는 치수 7x6x4 m3의 실험 현장을 조사했습니다.



[그림 148] 국립축산과학원 Test-bed 슬러리피트

- 거품 발생은 1차, 2차 현장 실험에서 발생된 것과 동일하며, 이전 작업을 기반으로 다시 거품 전달 튜브에 약간의 수정을 가함. 유사하게, 동일한 Gastec을 사용하여 냄새 유발 가스의 농도를 측정함. 첫 번째 및 두 번째 현장 실험에서와 유사한 방식으로 슬러리 바로 위의 농도와 슬러리로부터 대략 2m 이상의 배경 농도를 측정함.
- 2차년도 2차 실증시험에서는 1개 돈사방에서 진행. 거품도포 전/후로 구분하여 운영



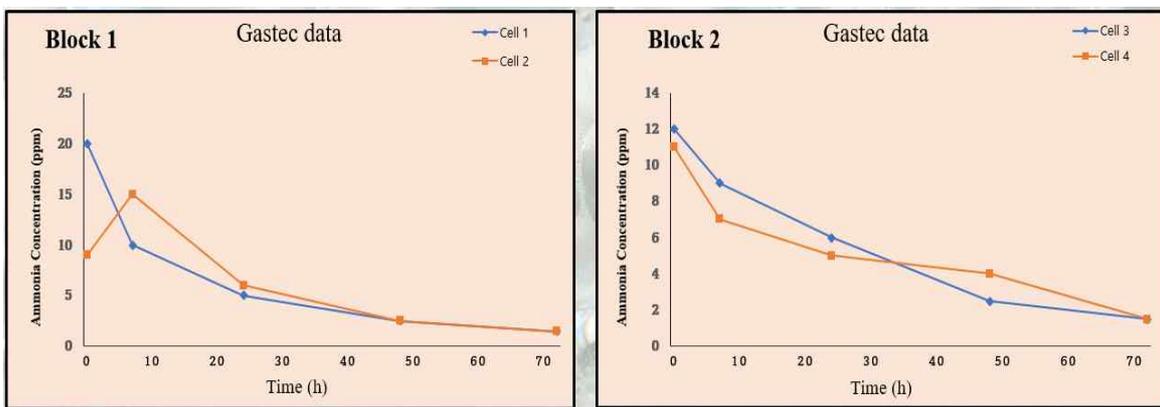
[그림 149] 국립 축산과학원 Test-bed 슬러리피트 내부 거품 도포장치 설치

○ 가스농도 측정방법

- (GASTEC 측정) 냄새 유발 가스의 농도를 측정하기 위해 동일한 Gastec이 사용됨. 농도는 슬러리 바로 위에서 측정되었고 배경 농도는 슬러리에서 대략 2m 이상으로 측정됨.
- (Ammonia sensor 자동 측정) 국립축산과학원 보유 INNOVA NH3 자동측정시스템을 이용하였음.

○ 슬러리피트 거품도포 실증시험 결과

- (GASTEC 측정) 이 시간 동안, 슬러리 위의 황화수소 및 메르캅탄은 이전과 유사한 검출 수준 이하로 발견됨. 암모니아의 초기 농도를 측정함. 이번에도 실험 셀에 대해 다른 암모니아 농도가 측정됨. 암모니아의 초기 배경 농도는 8ppm으로 측정됨.

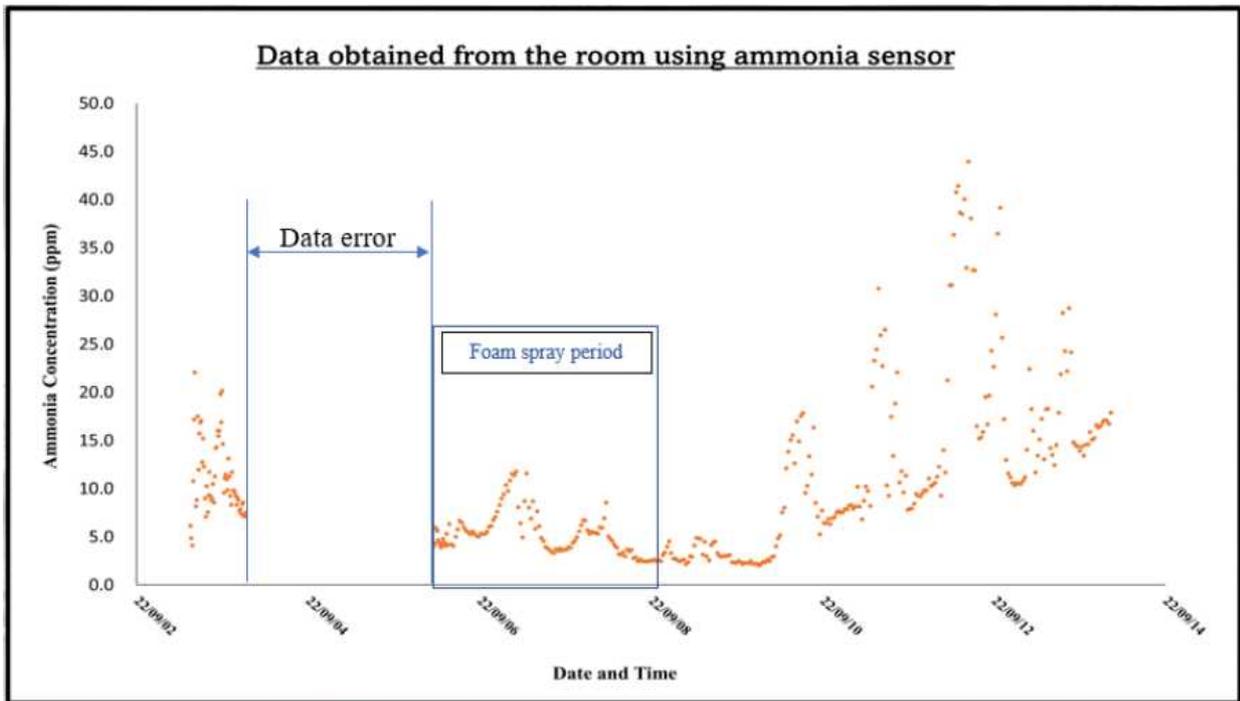


[그림 150] 국립 축산과학원

그림. 국립 축산과학원 Test-bed 슬러리피트 발생 암모니아 측정결과 (GASTEC측정)

- 국립 축산과학원 Test-bed에 거품도포방의 좌측 Block1과 우측 Block2의 초기 암모니아 농도는 10-20 ppm 정도로 시작하였음
- 거품도포이후 암모니아 농도는 점차 감소하는 것으로 나타났으며 70시간 경과후 이 방의 배경농도인 2ppm정도 유지하였음
- (Ammonia sensor 자동 측정) 암모니아의 악취가 거의 제어됨. 이 필드 동안 암모니아 농도는 거품이 덮인 후 거의 48시간 동안 95% 이상으로 억제됨. NIAS에서 사용하는 데이터 센서에서 얻은 데이터는 그림 19와 같이 암모니아에 대한 바이오 폼의 효율성을 보여줌.
- 전반적으로 1회부터 마지막 3회까지 거품 전달 시스템을 약간 수정하여 암모니아 악취의

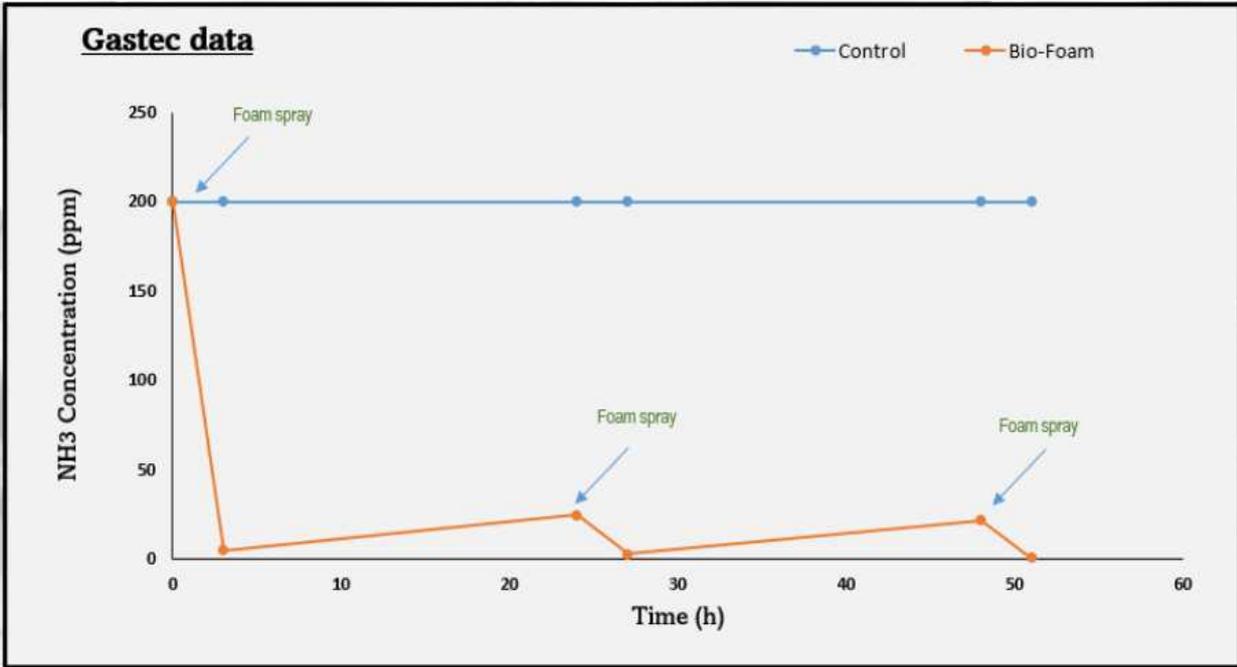
효율은 거품이 덮인 동안뿐만 아니라 거품이 부서진 후 비교적 긴 시간(48h)에도 거의 제어됨.



[그림 151] 국립축산과학원 Test-bed 슬러리피트 발생 암모니아 측정결과 (자동측정시스템)

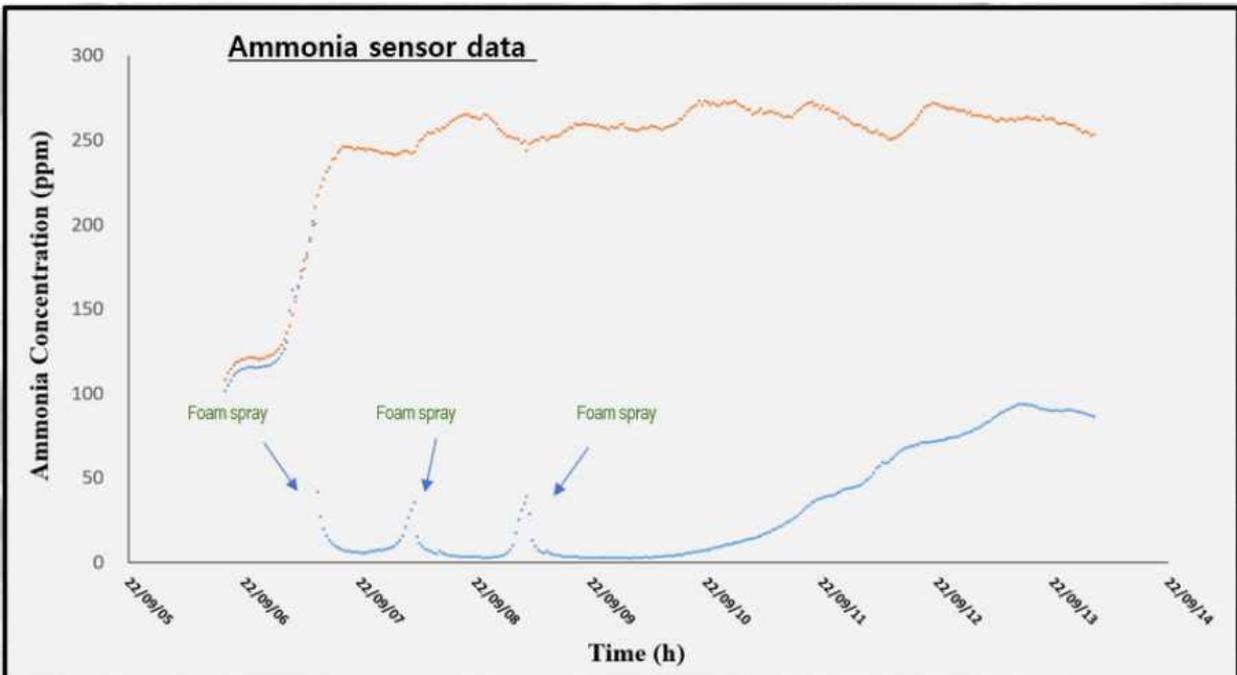
- 자동측정시스템 운영결과에서도 거품도포이후 암모니아 농도는 점차 감소하는 것으로 나타났으며 70시간 경과후 이 방의 배경농도인 2ppm 정도 유지하였음.

○ 슬러리 피트 탱크 거품도포 시험 (2차)



[그림 152] 슬러리탱크 발생 암모니아 측정농도 (GASTEC측정)

- 슬러리탱크에서 발생하는 암모니아 농도를 GASTEC으로 측정한 결과 control은 200 ppm의 높은 농도를 보였으며 거품도포후 발생농도는 2-20 ppm정도를 나타냄.



[그림 153] 슬러리탱크 발생 암모니아 측정농도 (자동측정시스템)

- 자동측정시스템에서 측정한 암모니아 농도는 250 ppm을 유지하고 있음.

- 2차년도 슬러리시험탱크 실험에서 암모니아 농도를 거의 저감시켰고 흥미롭게도 암모니아 농도가 144시간 동안 (거품소멸 후 4일동안) 60% 이상 제어되는 것으로 관찰됨. 이는 거품이 소멸된 후에 남게 되는 미세기포가 여전히 슬러리 상부에서 암모니아 발생을 막고 있는 것으로 보이며 또한 거품에 섞여 있는 암모니아 생분해 미생물이 암모니아를 일정부분 생분해 하는 것으로 보임.

6) 위탁연구기관(주관): 충북대학교

○ (복합약취 관련 최적 분석 기법 적용) 농가 단위 복합약취에 대한 기여도 평가를 위한 데이터 전처리 및 최적모형 선택

- 복합약취에 대한 기여도 평가 모형 개발을 위한 데이터 전처리 과정으로 결측값(Missing value) 대체와 변수(약취물질)의 단위를 맞춰주는 표준화 작업 및 모형 성능 향상을 위한 다양한 변수 선택(feature selection) 및 추출(feature extraction) 기법을 적용.
- 모형 설계에 사용된 약취물질 15종 중 10종에서 결측값이 발생하여 다양한 기법 적용.

[표 40] 모형 개발에 사용된 약취물질 및 결측값 비율(*: 결측값 발생한 약취물질)

물질 계열	약취물질	결측값 / 데이터 수 (결측 비율)
질소 계열	암모니아	0/57 (0%)
황 계열	황화수소	0/57 (0%)
	* 메틸메르캅탄	31/57 (54%)
	* 다이메틸설파이드	36/57 (63%)
	* 다이메틸다이설파이드	52/57 (91%)
휘발성 유기화합물	* 프로피온산	0/57 (0%)
	* n-뷰틸산	1/57 (2%)
	* n-발레르산	1/57 (2%)
	l-발레르산	1/57 (2%)
	아세트산	0/57 (0%)
	* l-뷰틸산	1/57 (2%)
	* 페놀	2/57 (4%)
	para크레졸	1/57 (2%)
	* 인돌	21/57 (37%)
	* 스키타롤	8/57 (14%)

- 결측값 비율이 91%인 다이메틸다이설파이드 변수는 모형에서 제거하였으며, 나머지 결측 비율이 적은 변수에 대해서는 결측값을 제거한 방법과 결측값을 대체한 방법을 비교.

- 결측값 대체 기법으로는 7가지 기법을 적용: 평균을 이용한 단순 대체법(Simple imputation by mean), 중앙값을 이용한 단순 대체법(Simple imputation by median), 베이저안 릿지를 이용한 다변량 대체법(Multivariate imputation by Bayesian Ridge), 극단 랜덤화 트리를 이용한 다변량 대체법(Multivariate imputation by Extra Tree), 베이저안 릿지를 이용한 다중 대체법(Multiple imputation by Bayesian Ridge), 가우시안 프로세스 회귀를 이용한 다중 대체법(Multiple imputation by Gaussian Process Regression), K-최근접 이웃 대체법(K-Nearest Neighbor imputation)
- 변수의 단위를 조정하는 표준화 기법을 수행 후 모형 성능 향상을 위해 다양한 변수 선택 및 추출 기법을 적용.
 - 표준화 기법 : 각 변수의 평균을 0, 표준편차를 1로 변환하는 기법
 - 변수 선택 기법 : 릿지(Ridge), 라쏘(Lasso), 엘라스틱 넷(Elastic Net)
- 복합악취 최적모형 선택을 위해 전처리 작업이 완료된 데이터에 8가지 모형을 적용 및 비교.
 - 다중 회귀 (Multiple Regression)
 - 랜덤 포레스트 (Random Forest)
 - 극단 랜덤화 트리 (Extreme Randomized Tree)
 - XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)
 - 서포트 벡터 회귀 (SVR, Support Vector Regression)
 - 1층 다중 퍼셉트론 (Multiple Perceptron with 1 hidden layer)
 - 2층 다중 퍼셉트론 (Multiple Perceptron with 2 hidden layer)
 - 인공신경망 (Artificial Neural Network)
- 모형 선택 방법으로는 모형 검정 기법인 Leave-One-Out 교차검정(L00CV)을 사용하였으며 선정 기준인 R^2 값과 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)을 통해 최적 모형 선택.
- 복합악취 기여도 평가를 위해 악취물질 변수 중 복합악취에 영향을 주는 정도를 나타내는 변수중요도를 사용.



[그림 154] 농가 단위 복합악취에 대한 기여도 평가를 위한 연구분석 과정

○ 센서 데이터 기반 복합악취 기여도 평가 모형 개발 및 적용을 위한 전처리 및 최적모형 선택

- 복합악취 값을 악취방지법에 따른 악취 배출허용 기준(표 41) 중 기타지역 기준에 따라 배

출 가능한 악취와 배출 불가능한 악취로 구분.

[표 41] 악취방지법 배출허용 기준

구분	배출허용 기준 (희석배수)	
	공업지역	기타지역
배출구	1000 이하	500 이하
부지경계선	20 이하	15 이하

- 악취물질 15종 외 범주형 데이터인 측정장소 변수와 측정시기 변수를 추가하여 모형 설계 수행, 측정시기 변수의 경우 월을 기준으로 사계절 변수로 변환하여 사용.
 - 측정장소 변수: 돈사내부, 돈사외부, 부지경계
 - 측정시기 변수: 연.월.일 → 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월), 겨울(12월~2월)
 - 두 범주형 변수의 경우 범주형 변수를 연속형 변수로 변환하는 원-핫 인코딩(One-Hot encoding) 적용.

[표 42] 모형 개발에 사용된 변수

연속형 변수	질소 계열	암모니아
	황 계열	황화수소, 메틸메르캡탄, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드
	휘발성 유기화합물	프로피온산, n-부틸산, n-발레르산, l-발레르산, 아세트산, l-부틸산, 페놀, 파라크레졸, 인돌, 스키타롤
범주형 변수	측정장소	돈사내부, 돈사외부, 부지경계
	측정시기	봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월), 겨울(12월~2월)

- 모형 개발에 앞서 전처리 작업을 수행하였으며 연속형 변수의 경우 결측값 대체, 표준화 기법 적용, 변수 간 관계 파악을 위한 분산팽창요인(VIF)과 상관관계 분석을 수행하였고 범주형 변수의 경우 범주별 평균 차이를 검정하는 통계적 기법 분산분석(ANOVA) 수행.
 - 결측값은 연속형 변수에만 나타났으며 결측 수가 적어 결측 대체 기법인 다변량 대체법 수행.
 - 연속형 변수의 경우 변수 간 관계(선형, 비선형 관계) 파악과 변수 간 다중공선성 여부를 파악하기 위해 분산팽창요인(VIF) 계산과 상관분석을 수행.
 - 범주형 변수의 경우 각 범주형 변수의 범주별 평균 차이가 있는지 파악하는 분산분석(ANOVA)를 수행하여, 범주형 변수가 변수로써 유의미한 의미를 갖는지 파악.
- 최적모형 선택을 위해 6가지 머신러닝 모형을 사용하였으며 선정 기준으로는 분류모형에서 주로 사용되는 6가지 평가지표 사용.
 - 사용된 모형: K-최근접 이웃(K-Nearest Neighbor), 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine), 랜덤 포레스트(Random Forest), 극단 랜덤화 트리(Extreme Randomized Tree), LightGBM(Light Gradient Boosting Machine), XGBoost(eXtreme

Gradient Boosting)

- 선정 기준(평가지표): 정확도(accuracy), F1-score, 민감도(sensitivity), 특이도 (specificity), 양성예측도(PPV), 음성예측도(NPV)를 사용.
- 복합약취 기여도 평가를 위해 머신러닝 기법 해석 시 사용되는 기법인 Explainable artificial Intelligence(XAI)를 사용.



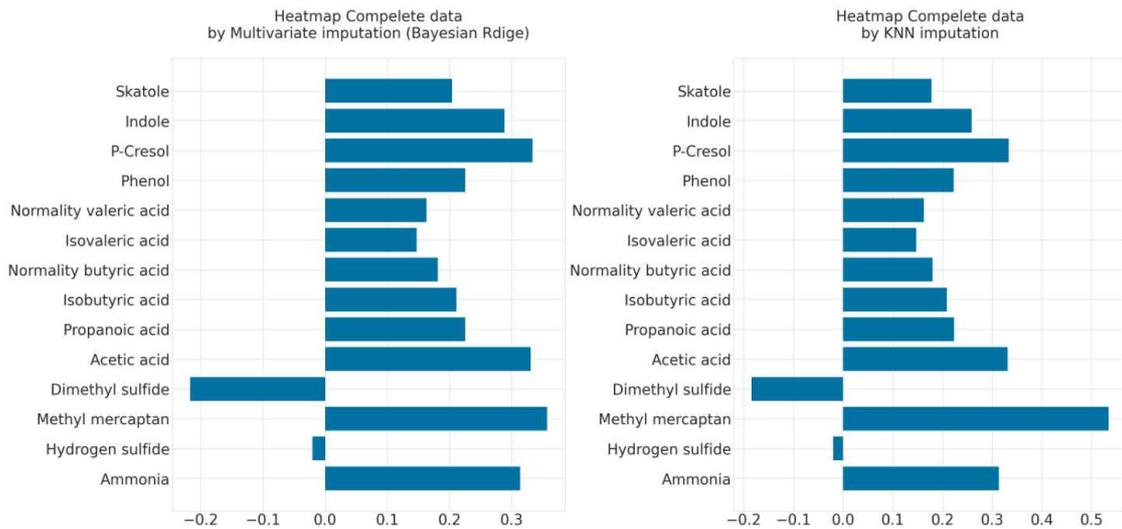
[그림 155] 센서 데이터 기반 복합약취 기여도 평가 모형 개발 및 적용을 위한 연구분석 과정

○ 약취수준 별 생산성 분석

- 축산약취에 따른 생산성 비교를 위한 데이터 전처리 및 분석
- 양돈농가의 약취와 생산성 관계 규명을 위한 Data set 구축 진행
 - DB 구축 후 다양한 통계적 방법을 통해 양돈농가의 약취와 생산성 관계 규명 예정

○ (복합약취 관련 최적 분석 기법 적용) 농가 단위 복합약취에 대한 기여도 평가를 위한 데이터 전처리 및 최적모형 선택.

- 약취물질 변수의 결측값 문제를 해결하기 위해 결측 제거 기법과 7가지 결측 대체 기법을 비교한 결과 제거보다는 대체 기법이 우수하였으며, 그 중 베이저안 릿지를 이용한 다변량 대체법(Multivariate imputation by Bayesian Ridge)과 K-최근접 이웃 대체법(K-Nearest Neighbor imputation)이 가장 우수한 것으로 나타남.
 - 두 결측 대체 기법 결과, 메틸메르캅탄 변수의 상관관계 결과(0.357, 0.535)를 제외한 다른 변수는 모두 유사한 결과로 나타남(그림 156).
 - 상관관계 분석 결과는 황화수소(-0.02)와 다이메틸설파이드(-0.2) 변수는 음의 상관관계로 두 변수 값의 증가는 복합약취의 감소로 영향을 주는 것으로 나타났고, 이외 다른 변수들은 양의 상관관계로 변수들 값의 증가는 복합약취도 증가로 영향을 주는 것으로 나타남.



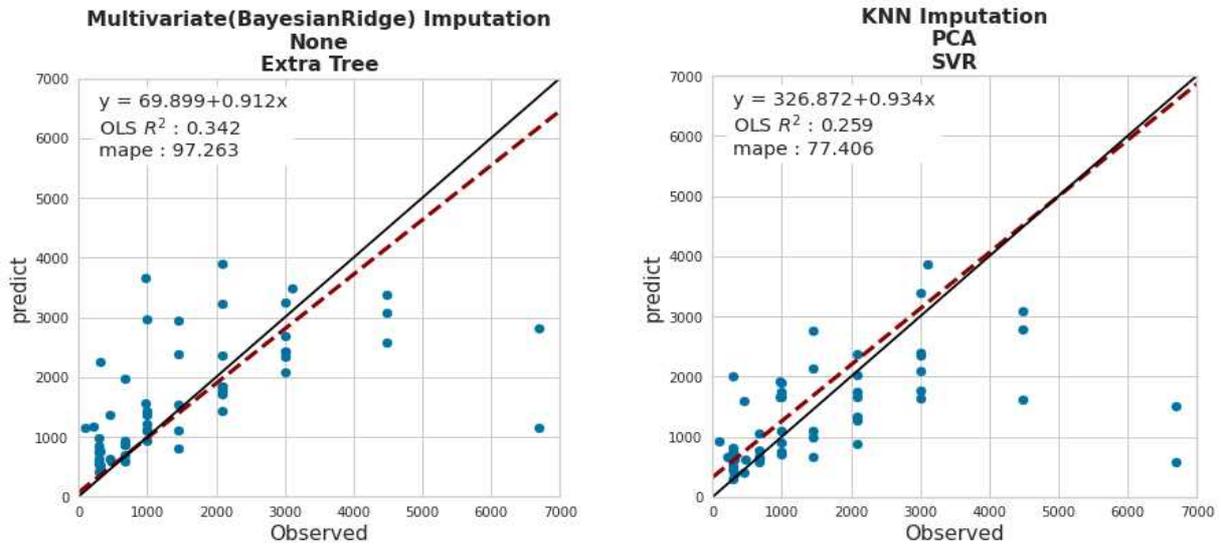
[그림 156] 결측값 대체된 데이터의 상관관계 결과

- 복합악취 예측에 적합한 모형 선정을 위해 변수 전처리 기법 6가지와 예측 모형 8가지의 조합의 결과를 비교하였으며, 모형 선정 기준으로 예측값과 실제값 간의 회귀분석으로 계산된 R^2 와 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용해 두 기준에서 가장 우수한 기법 선정(표 43).

[표 43] 결측 대체 기법, 변수 전처리 및 예측 모델 조합 결과에 따른 모형 선정 결과

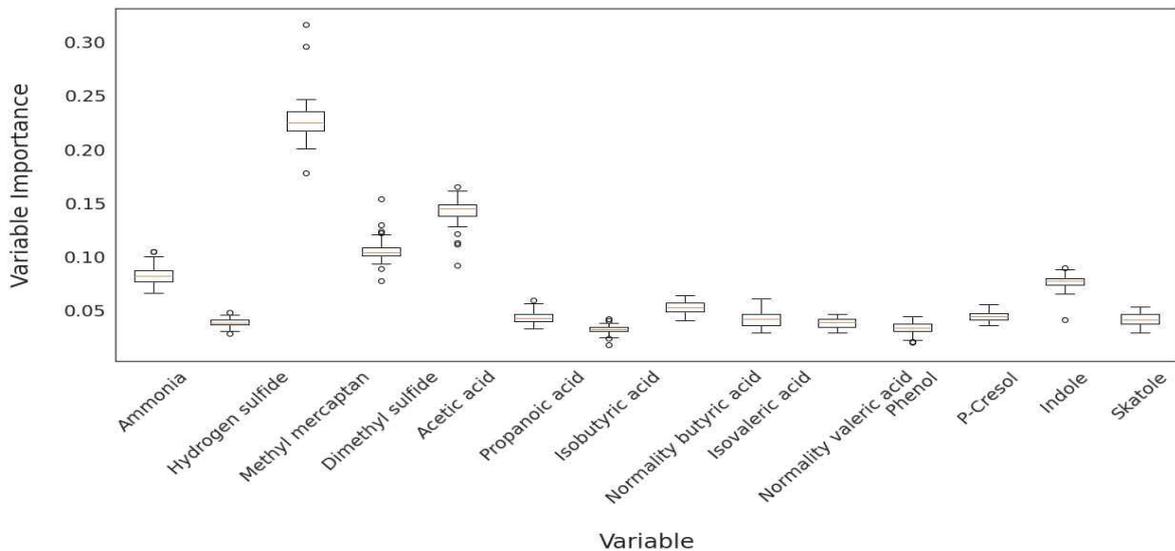
결측값 대체		변수 전처리	분석 모델	결과
R^2 기준	베이지안 릿지를 이용한 다변량 대체법	없음	극단 랜덤화 트리 (Extra Tree)	$R^2 = 0.342$
MAPE 기준	K-최근접 이웃 대체법	주성분 분석 (PCA)	서포트 벡터 회귀 (SVR)	MAPE = 77.41

- 선정된 2가지 모형 모두 빨간색 점선으로 표시한 추정된 회귀선의 절편값이 0보다 큰 값을 갖는 것으로 나타났으며(그림 157), 이는 예측값(predict)의 평균이 실제값(observed)의 평균보다 높게 예측됐음을 의미함.
- 두 결과 모두 추정된 회귀선과 기울기 1이고 절편 0인 검은색 직선이 교차하는 것으로 나타났으며 이는 교차 전(빨간색 점선이 검은색 직선보다 위에 있는 경우)에는 실제값보다 예측값이 큰 과대추정(overestimate)이 발생하며, 교차 후(빨간색 점선이 검은색 직선보다 아래 있는 경우)에는 실제값보다 예측값이 작은 과소추정(underestimate)이 발생하는 것으로 나타남.
- 분석에 사용된 데이터의 수가 적어 모형의 정확도가 떨어지나 향후 데이터 추가 확보를 통해 모형 개선 및 정확도 향상 예정.



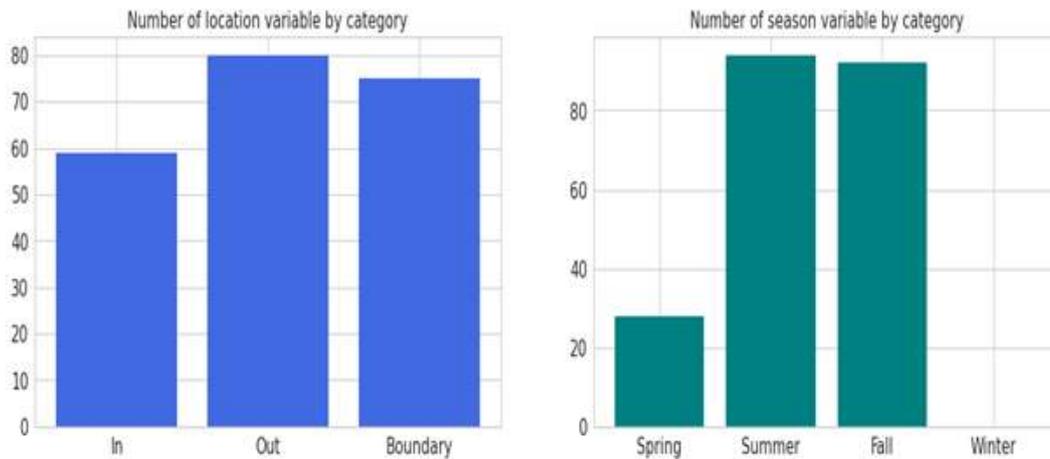
[그림 157] 선정된 모형을 사용한 예측 결과 그림

- 복합악취 예측에 가장 많은 영향을 주는 악취물질을 변수 중요도를 통해 확인하였으며, 변수 중요도 계산이 가능한 극단적 랜덤화 트리의 변수 중요도 결과 가장 중요한 변수는 메틸메르캡탄, 아세트산, 다이메틸설파이드 순으로 나타남(그림 158).



[그림 158] 복합악취 예측에 대한 악취물질 변수 중요도

- 센서 데이터 기반 복합악취 기여도 평가 모형 개발 및 적용을 위한 전처리 및 최적모형 선택
 - 복합악취를 악취방지법에 따라 배출 가능한 경우(0)와 불가능한 경우(1)로 이진 분류하였으며 두 범주의 비율은 47:53으로 분류됨.
 - 복합악취 예측을 위해 악취물질 이외 측정장소(돈사내부, 돈사외부, 부지경계) 변수와 측정시기(봄,여름,가을,겨울) 변수를 사용하였으며, 측정시기 변수 중 겨울에 측정된 값은 없으므로 제거함(그림 159).



[그림 159] 측정장소 변수와 측정시기 변수의 분포도 그림

- 범주형 변수인 측정장소와 측정시기 변수의 범주가 유의미한지 파악하기 위하여 분산분석(ANOVA) 수행.
 - 그 결과 측정장소 변수의 경우 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드, 인돌, 스카톨을 제외한 12개의 변수에서 유의미하였으며(표 44), 측정시기 변수의 경우 복합악취, 암모니아, 황화수소, 다이메틸다이설파이드, 파라크레졸, 스카톨을 제외한 9개의 변수에서 유의한 것으로 나타남(표 45). 즉, 두 범주형 변수는 유의미한 변수임을 파악.
 - 유의미한 변수 중 표에 표시된 A,B,C는 그룹을 의미하며, 예를 들어 측정장소 변수에 대한 분산분석 결과 중 황화수소의 경우 돈사내부(A)와 돈사외부(A)에서는 유사하지만, 부지경계(B)와는 차이가 있음을 의미.

[표 44] 측정장소 변수에 대한 분산분석 결과

변수명	돈사 내부	돈사 외부	부지 경계	F-value	p-value	변수명	돈사 내부	돈사 외부	부지 경계	F-value	p-value
복합악취	1533.05 ^A	708.6 ^B	73.52 ^C	33.8443	< 0.001	l-뷰틸산	36.23 ^A	17.96 ^A	2.01 ^B	33.1611	< 0.001
암모니아	5.74 ^A	2.54 ^B	0.49 ^C	38.5156	< 0.001	n-뷰틸산	323.15 ^A	173.78 ^B	11.95 ^C	30.4768	< 0.001
황화수소	357.28 ^A	275.63 ^A	16.27 ^B	16.9522	< 0.001	l-발레르산	95.74 ^A	48.04 ^B	4.81 ^C	23.6258	< 0.001
메틸						n-발레르산	186.4 ^A	85.17 ^B	6.81 ^C	16.3057	< 0.001
메르캅탄	14.26 ^A	4.24 ^B	1.18 ^B	13.9047	< 0.001	페놀	12.66 ^A	6.28 ^B	2.6 ^B	11.4036	< 0.001
다이메틸설파이드	11.868	6.076	0.105	1.39504	0.2501	파라크레졸	69.12 ^A	36.6 ^B	3.38 ^C	24.4924	< 0.001
다이메틸다이설파이드	0.2	0.127	0.055	1.82432	0.1639	인돌	2.448	1.821	2.361	0.1639	0.8489
아세트산	495.75 ^A	218.761 ^B	45.75 ^C	25.4808	< 0.001	스카톨	4.345	2.281	3.134	0.8453	0.4309
프로피온산	380.37 ^A	177.05 ^B	21.23 ^C	33.9087	< 0.001						

[표 45] 측정시기 변수에 대한 분산분석 결과

변수명	봄	여름	가을	F-value	p-value	변수명	봄	여름	가을	F-value	p-value
복합악취	641.82	681.11	768.36	0.1876	0.8291	l-뷰틸산	35.101 ^A	16.44 ^{AC}	12.94 ^{BC}	7.4342	0.0017
암모니아	1.44	2.6	3.2	2.1473	0.1194	n-뷰틸산	428.16 ^A	130.03 ^B	103.68 ^B	20.9204	<0.001
황화수소	213.68	240.98	169.28	0.7901	0.4552	l-발레르산	116.53 ^A	48.41 ^B	21.88 ^B	15.6096	<0.001
메틸	3.81 ^A	9.39 ^{AB}	3.08 ^{AC}	4.2065	0.0162	n-발레르산	192.99 ^A	103.72 ^A	34.09 ^B	8.5206	0.0012
메르캅탄	37.24 ^A	0.68 ^B	0.83 ^B	10.6677	<0.001	페놀	12.1 ^A	7.62 ^{AC}	4.23 ^{BC}	4.6305	0.0108
다이메틸설파이드	0.08	0.17	0.08	1.0595	0.3485	파라크레졸	51.85	28.25	34.15	1.6836	0.1882
다이메틸다이설파이드	377.45	157.86 ^B	269.192 ^B	3.8830	0.0221	인돌	1.28	1.52	3.42	2.4309	0.0904
아세트산	365.33	167.31 ^B	132.45 ^B	7.6225	0.0016	스카톨	5.01	2.69	3.07	0.6876	0.5039

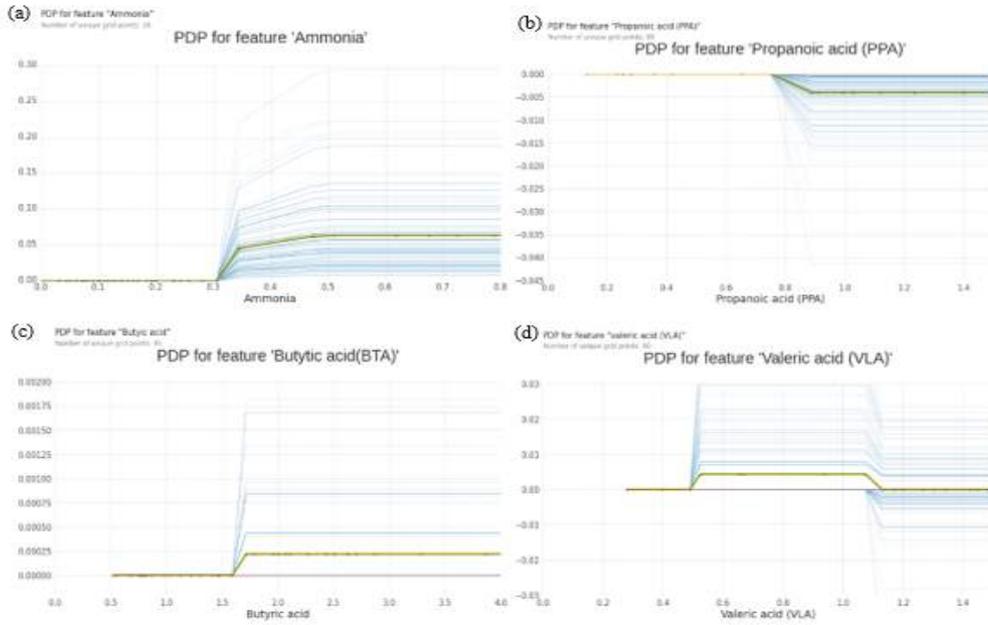
- 분류 예측 모형 선정을 위해, 6개의 분류모형을 6개 평가지표로 평가하였으며, 그 결과 평가지표 6개 중 4개에서 서포트 벡터머신이 가장 우수한 것으로 나타남(표 46).

[표 46] 분류 예측 모형별 평가지표 결과

평가지표	K-최근접 이웃	서포트 벡터머신	랜덤 포레스트	극단 랜덤화 트리	LightGBM	XGBoost
F1-score	0.5405	0.7143	0.6667	0.4865	0.6286	0.7059
정확도	0.6047	0.8140	0.7442	0.5581	0.6977	0.7674
민감도	0.6250	0.6250	0.6875	0.5625	0.6875	0.7500
특이도	0.5926	0.9259	0.7778	0.5556	0.7037	0.7778
양성예측도	0.4762	0.8333	0.6471	0.4286	0.5789	0.6667
음성예측도	0.7273	0.8065	0.8077	0.6818	0.7917	0.8400

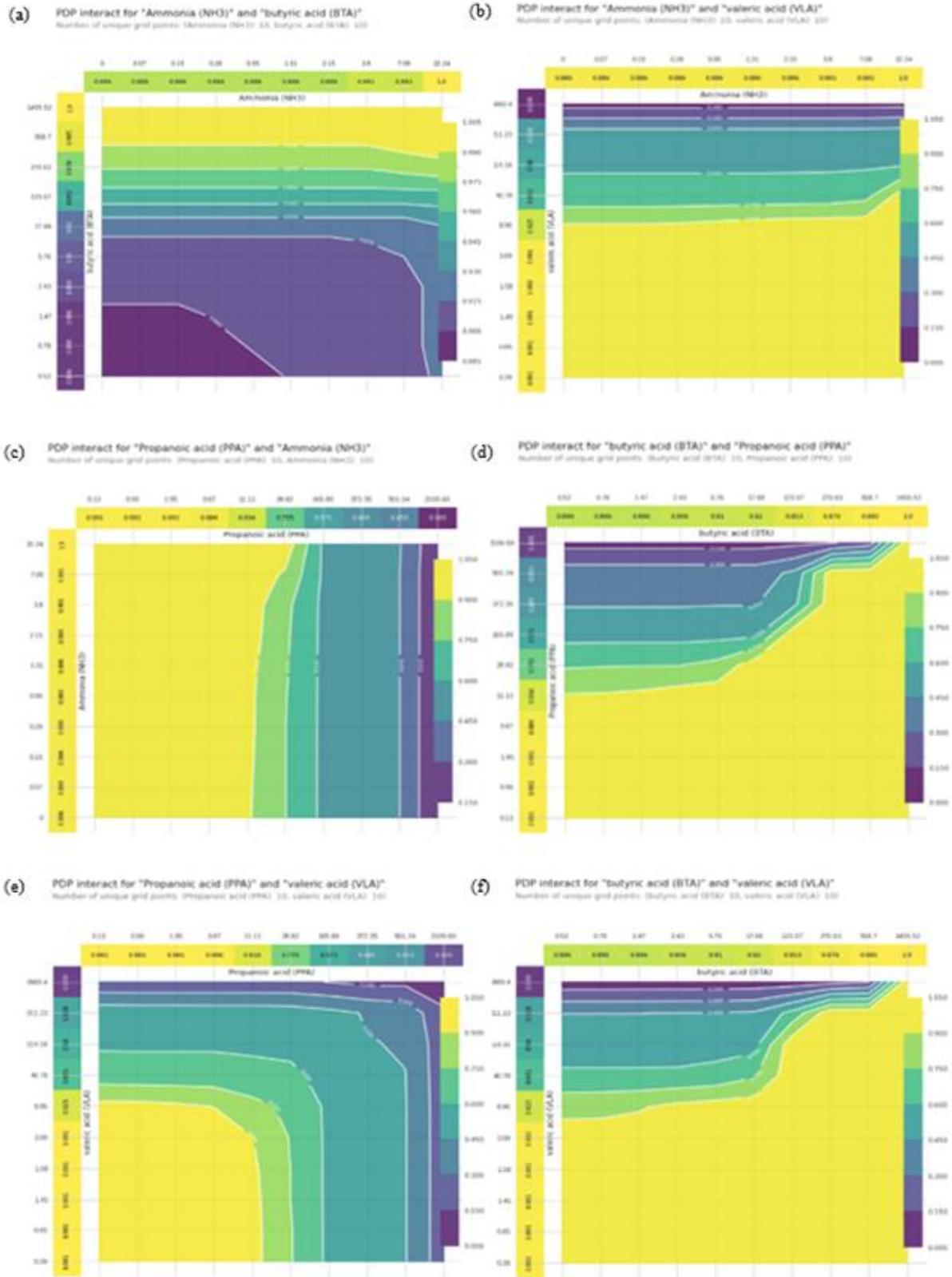
- 예측력이 가장 우수했던 서포트 벡터 머신의 결과를 사용하여 악취물질이 복합악취에 미치는 영향력과 악취물질간의 교호효과를 파악하기 위해 XAI 기법 중 부분의존도그림(PDP)를 사용.

- 악취물질 중 복합악취와의 상관관계, 분산분석의 결과 등을 고려하여 4개의 악취물질 암모니아, 프로피온산, n-뷰틸산, n-발레르산에 대해 해석을 진행.
- 복합악취에 미치는 영향(그림 160)을 확인해 보면 암모니아의 경우 0.3, n-뷰틸산의 경우 1.5를 기준으로 그 이상의 값이 될 경우 복합악취에 악영향(배출 불가능)을 미치는 것으로 나타났으며, 프로피온산의 경우 0.7이상일 경우 복합악취에 순영향(배출 가능)을 미치고, n-발레르산의 경우 0.5~1.1에서 복합악취에 악영향을 미치는 것으로 나타남.



[그림 160] 부분의존도그림을 사용한 약취물질이 복합약취에 미치는 영향 그림

- 약취물질간의 교호효과 (그림 161)의 경우, (그림 161)의 a의 경우에는 암모니아와 n-뷰틸산 모두 증가하면 복합약취에 악영향을 미쳤으며, (그림 161)의 d의 경우에는 프로피온산이 감소하고 n-뷰틸산이 증가할수록 복합약취에 악영향을 미치는 것으로 나타남.



[그림 161] 부분의존도그림을 사용한 약취물질간 교호효과 그림

○ 분석에 사용된 기법 설명

- 분석에 있어 데이터의 결측값 문제를 해결하고자 4종류의 결측값 대체 기법을 응용하여 7

가지 기법이 사용되었으며, 예측 성능을 높이고자 8가지 변수 전처리 기법, 8가지 예측 모형 사용됨.

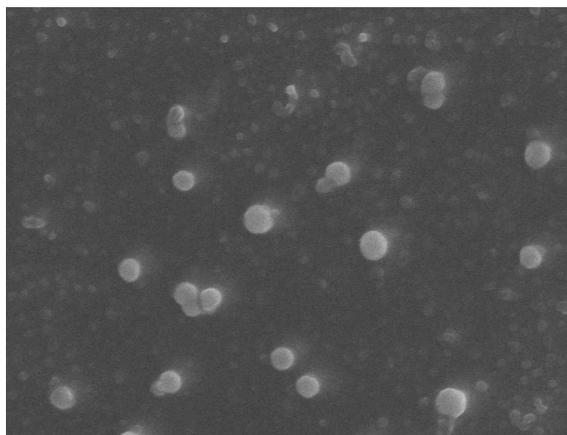
- 예측 모형 평가를 위해 교차검증 방법과 8종류의 평가 기준을 사용함.
- 약취물질이 복합약취에 미치는 영향과 서로 간의 교호효과를 파악하기 위해 설명 가능한 인공지능(XAI) 기법 중 부분의존도그림을 사용함.
- 성능평가 지표
 - 정확도(Accuracy): 전체 결과 중 옳게 예측한 비율.
 - 민감도(Sensitivity): 실제 양성 중 양성으로 예측한 비율.
 - 특이도(Specificity): 실제 음성 중 음성으로 예측한 비율.
 - F1-score: 특이도와 양성예측도의 조화평균으로 계산되는 평가지표.
 - 양성예측도(PPV): 양성으로 예측한 결과 중 실제 양성 비율을 의미.
 - 음성예측도(NPV): 음성으로 예측한 결과 중 실제 음성 비율을 의미.
- 설명 가능한 인공지능(XAI) 기법
 - 부분의존도그림(PDP): 변수의 값을 선형적으로 변형하며 알고리즘의 해석 능력이 얼마나 증가하고 감소하는지를 관찰하는 기법.

■ 2단계 1차년도 (2023)

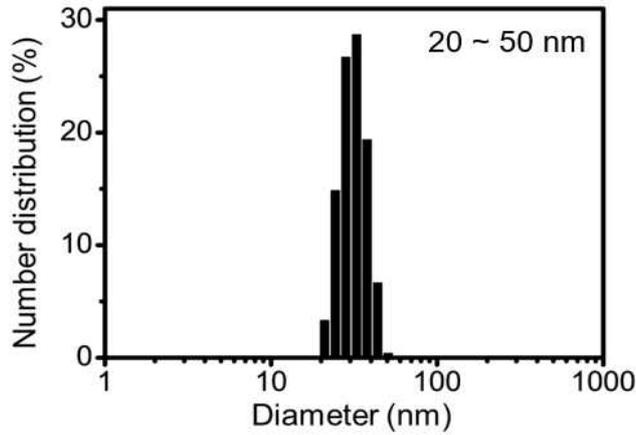
1) 주관연구기관: 성균관대학교 산학협력단

○ 축산 약취 검출용 바이오 리셉터

- 1단계에 확보한 유전자 4종 (h0R4E2, h0R6Y1, h0R51E1, 0R51p1)에 대하여 실증을 진행한 결과, 0R51p1 리셉터(그림 162)의 정제 및 발현, 나노디스크 합성이 용이하지 않아 새로운 후보군으로 0R2W1를 선정함. 나노디스크의 크기는 동적 광산란(Dynamic Light Scattering) 결과 20 ~ 50 nm로 측정됨 (그림 163).

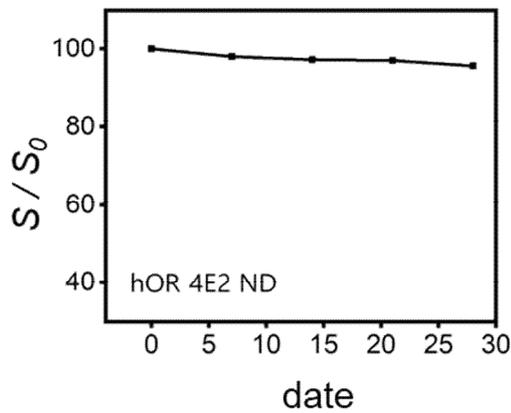


[그림 162] 나노디스크의 주사전자현미경 이미지



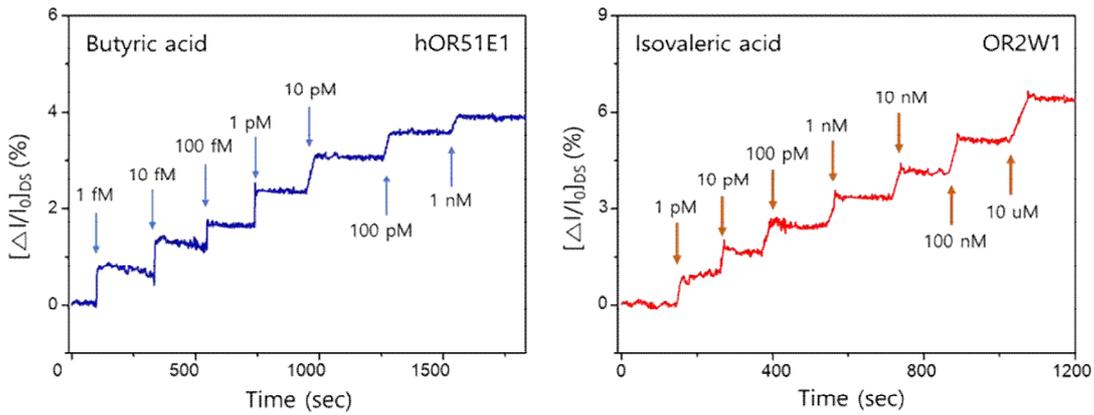
[그림 163] 나노디스크 사이즈 측정(DLS) 결과

- 실증에 사용하기 전 후각 수용체가 부착된 센서를 냉장보관을 하여 마르지 않게 소자를 보관함. 약취에 노출되지 않는 실험실 단위에서 측정을 진행할 경우 한달이 지나도 측정 시 95% 이상의 response를 유지함.



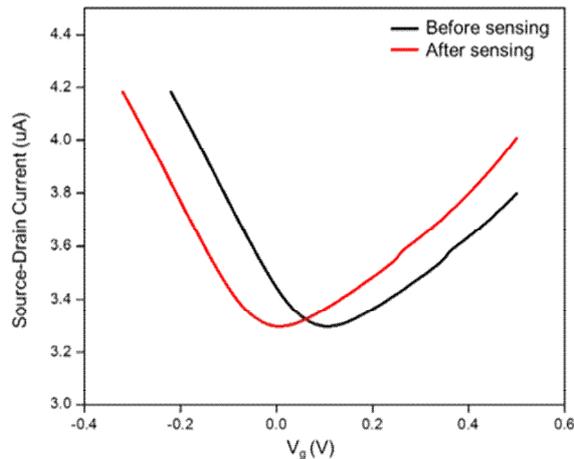
[그림 163] Stability 실험 결과

- 지방산류 리셉터별 Liquid gate 시스템 측정
 - 지방산류인 뷰티르산, 이소발레르산과 반응하는 hOR51E1, OR2W1 수용체와 liquid gate 시스템에서 검출 한계 및 리스폰스 정도를 확인하기 위하여 측정 실험을 진행함. 두 수용체 모두 타겟과 저농도에서 민감하게 반응함을 확인함.



[그림 163] 뷰티르산, 이소발레르산 측정 결과

- 소자에서 나타나는 전기적 특성을 측정하여, 뷰티르산 검출 전과 후의 전기적 특성 변화 (트랜스퍼 커브)를 비교하여 (그림)에 나타냄. 뷰티르산과 반응 후 소자에서는 트랜스퍼 커브가 이동하는 것을 확인할 수 있었고, 이는 뷰티르산의 흡착에 따라 그래핀 채널 내의 차지 캐리어가 변화하여 발생하는 결과이므로, 소자에 의해 뷰티르산이 검출됨을 확인함.



[그림 163] 타겟 노출 전후의 트랜스퍼 커브

○ 스탠다드 샘플 제작용 시스템

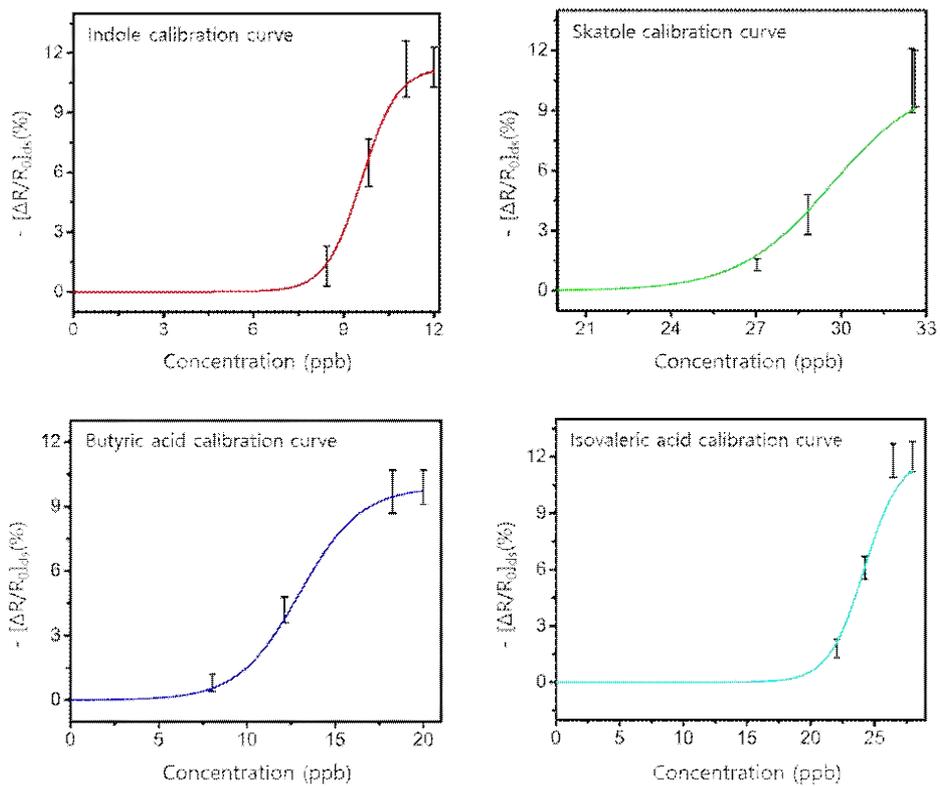
- 인돌, 스카톨, 뷰티르산, 이소발레르산은 스탠다드 샘플이 따로 존재하지 않음으로 기화 시스템을 제작하여 직접 샘플링함. 질소를 흘려보내 샘플이 용해된 에탄올을 기화시키고 유량계 조절을 통하여 특정한 농도의 스탠다드 샘플을 제조함. 이를 가스크로마토그래피 분석을 통하여 정확한 농도값을 구함.



[그림 163] 스탠다드 샘플 제작용 시스템

○ 농도 환산을 위한 calibration curve

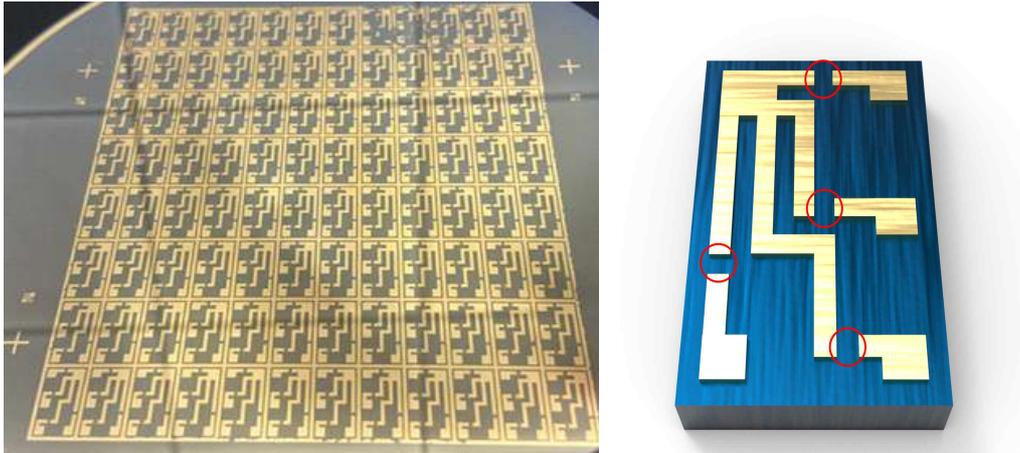
- 센서의 측정 전류를 농도로 변환시키기 위하여 농도별로 측정된 센서의 전류값을 토대로 calibration curve를 작성하고 변환식을 도출함 (그림 164) (각각 타겟에 대한 농도 곡선 표시) 바이오센서의 특성상 일정 약취 이상에서 saturation이 일어나며 이는 사용된 리셉터의 고유 특성에 따라 다른 범위의 값을 가짐.



[그림 164] 약취 센서별 calibration curve

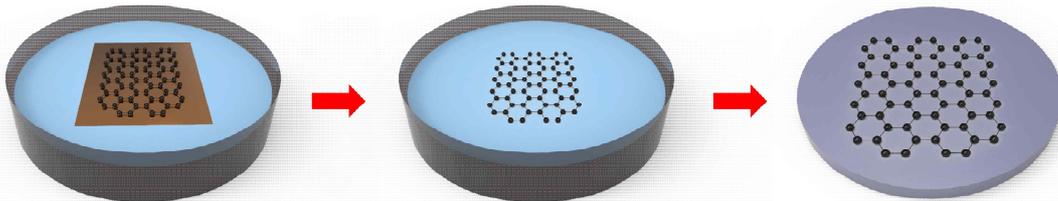
○ 바이오전자코(4종) 소형화 소자 개선

- 1단계에서 개발된 4채널 센서의 경우 표면 처리시 간격이 좁아 채널 간에 선택적인 표면 처리에 어려움이 있어 새로운 소자 디자인을 선택함. 빨간 원으로 표시가 된 곳이 리셉터를 처리하는 채널로 이곳에 리셉터를 고정화하여 약취 센서용 소자를 제작함 (그림 165). 웨이퍼 한 개에 96개의 소자 제작 가능.



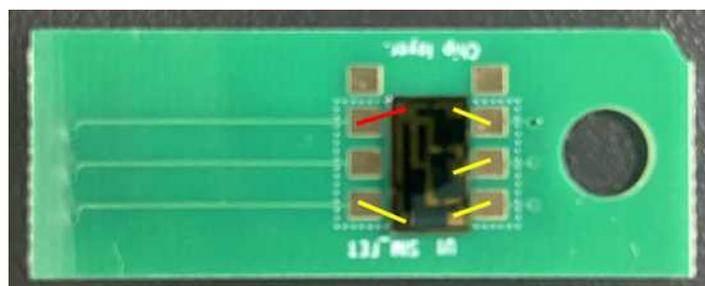
[그림 165] 좌: 4채널 소자 우:약취 센서용 소자 모식도

- 1단계에서 개발된 웨이퍼 스케일 그래핀 합성 및 MEMS 시스템을 활용하여 실리콘 웨이퍼 기판에 4채널 전극을 제작함.



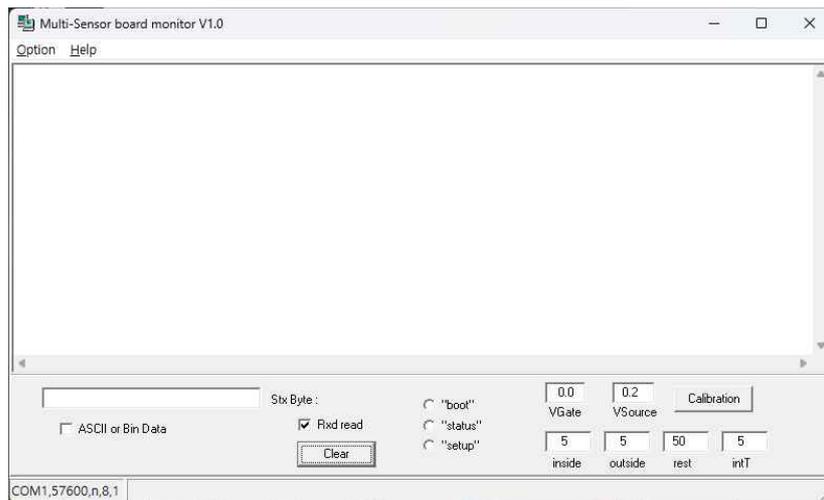
[그림 165] 그래핀 전사 과정

- 제작된 약취 센서용 소자를 PCB 보드 기판에 에폭시 처리를 통하여 접합한 후 전극 부분과 기판의 패드를 골드 와이어로 연결함. 와이어가 가늘어 쉽게 떨어질 수 있기 때문에 본딩된 부분 주위에 에폭시를 처리하여 내구도를 높임. (그림 166)에서 빨간색 선은 소스 전극 부분을 노란색 선은 각각의 드레인 전극을 나타냄.



[그림 166] PCB 기판에 접합된 센서 소자

- 센서의 내구성을 높이기 위하여 센서를 외부에 설치하여 강제 흡입식으로 공기를 가져와 수분 필터를 통해 장치에 노출되게 함. 측정, 휴지, 세척 (질소 가스로 세척)을 원하는 식으로 조정 가능함.



[그림 166] 측정 방식 조정용 소프트웨어

○ 복합악취 센서용 하드웨어 제작

- 4채널 소자와 암모니아, 황화수소 센서를 사용할 수 있는 업그레이드된 하드웨어를 제작함 (그림 167).
- 이러한 4채널 소자를 활용하여, 기존 복합악취 측정 장비에서는 암모니아 및 황화수소 중심으로 모니터링을 하였으나, 본 연구에서는 부지 경계에서 높은 악취 기여도를 보이는 인돌류 및 지방산류의 추가적인 측정이 가능하여 악취 민원 발생 저감에 매우 큰 기여가 가능함.



[그림 167] 복합악취 센서 기판

- 1단계에 개발된 악취 센서들을 포함하여 총 4종의 센서를 개발함. 외관의 크게 세 가지로 휴대성을 최우선으로 한 소형 센서(데이터 송수신: 블루투스)와 노출식인 중형 센서, 그리고 강제흡입식인 대형 센서로 구분됨 (그림 168).



[그림 168] 왼쪽위: 소형 센서, 왼쪽아래: 중형 센서, 오른쪽: 대형 센서

○ 성균관대학교 산학협력단 & 칠곡군 농업기술화센터 MOU

- 1단계에 논의되었던 칠곡군 농업기술화센터와의 MOU협약을 성균관대학교 산학협력단에서 새롭게 진행하여 시범 농가를 선정하고 이를 통하여 바이오커튼 기술 및 거품 도포 기술을 적용할 수 있는 실증 장소를 확보함 (그림 167).



[그림 167] 좌: 업무협약서, 우: MOU 진행 사진

○ 양돈 농가 실증 진행 (칠곡)

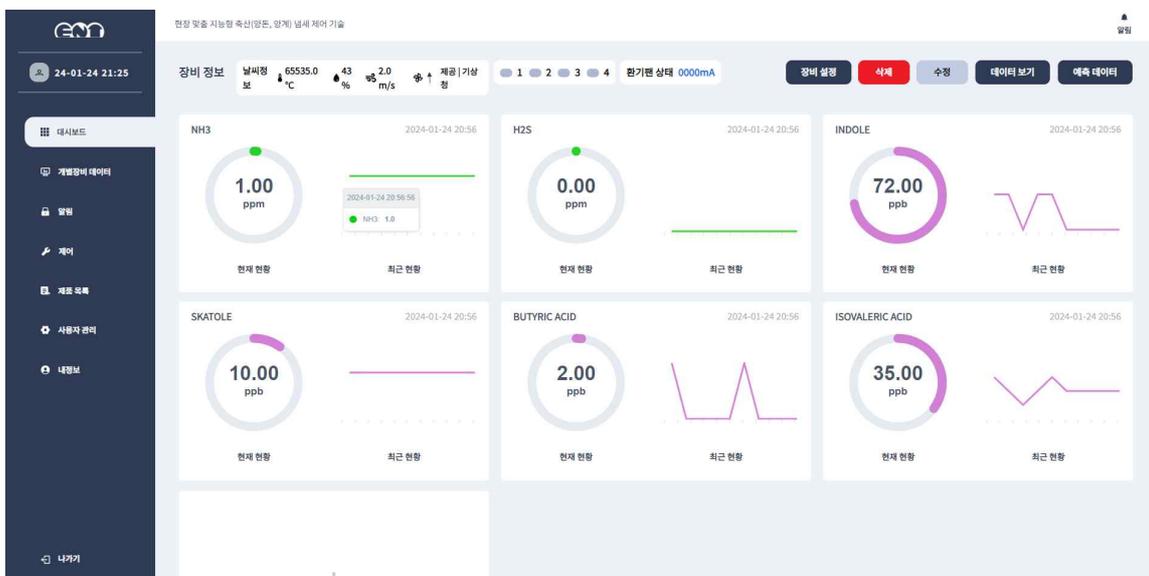
- MOU를 통하여 선정된 칠곡군의 신흥 농장에서 돈사에서 나오는 악취를 모니터링하고 저

감하는 스마트팜 실증 시스템을 진행함. 악취 저감 용액인 오딘을 적용하기 위하여 공동기관과 협력하여 돈사 상층 부에 바이오 커튼을 설치함. 거품 도포의 적용을 위해서는 돼지 분뇨를 모아두는 돈사장 내의 공간에 거품을 도포함. 두 가지의 동시적인 적용을 통하여 스마트팜 시스템의 유효성을 검증함 (그림 167).



[그림 167] 좌: 바이오 커튼, 우: 돈분장

- 설치된 센서를 통하여 측정되는 악취 농도를 공동기관인 (주)이엔티에서 제공하는 웹서버에서 실시간으로 확인이 가능함 (그림 168).



[그림 168] 신흥 농장 악취 데이터 사진

- 돈분장에 거품 도포를 진행하여 거품 도포 기술 및 악취 농도 전후를 비교함.



[그림 168] 신흥 농장 거품 실증 사진

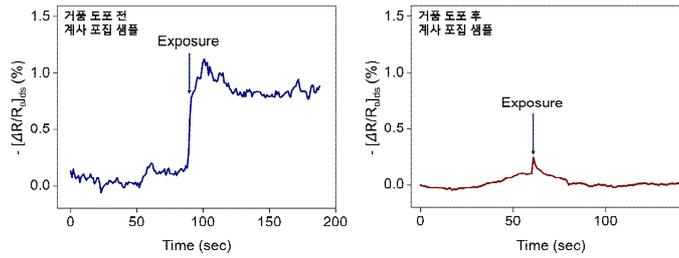
- 다양한 환경 및 구조를 갖는 양돈 농가(칠곡군 석현농장, 칠곡군 신흥농장)의 비육돈사 및 분뇨장에 설치된 악취 저감 기술(거품 도포 및 오딘 살포) 적용 효율을 확인하기 위해 과제 종료 후 3개월간 지속적인 관찰을 통해 축적 DB 비교 분석을 진행할 예정임.
 - 다양한 양돈 농가 사육 환경 현장 맞춤형 악취 저감 기술 실증을 위해 test-bed에서 사전 검증된 기술을 실제 양돈 농가에서 실증을 진행함.
 - 비육돈사, 분뇨장 등 악취 발생원의 형태가 다양하기 때문에 악취 발생원과 가축이 구분되지 않은 비육돈사의 경우, 외부로 내부 악취가 배출되는 바이오 커튼에 저감 기술 (오딘 살포)을 설치하였고, 퇴비만을 별도로 보관하는 분뇨장의 경우에는 가축에 미치는 영향이 제외되므로 직접적인 악취 저감 기술 (거품 도포)을 적용함.
- 양계 농가 실증 진행 (충주)
 - 충주의 주덕 농장에서 계장에서 나오는 악취를 모니터링하고 실증을 진행함.



[그림 169] 키움 농장 실증 현장

- 양계 농장의 닭이 출하된 뒤, 퇴비가 모여있는 환경의 기상 포집 시료와 거품 도포 후, 포

집 시료를 수집하여 4채널 소자가 적용된 악취 검출 센서로 측정을 진행함. 거품 도포 전의 소자에서는 시료 내 포함되어 있는 복합악취로 인해 높은 저항변화를 보였지만, 거품 도포 후 포집된 시료에서는 유의미한 저항 변화가 없는 것으로 보아 악취 저감 효능을 검증함.



양계 농장 거품 도포 전후 포집 시료 악취 측정 결과

○ AI 모델 및 웹서버 연계 방안 모색

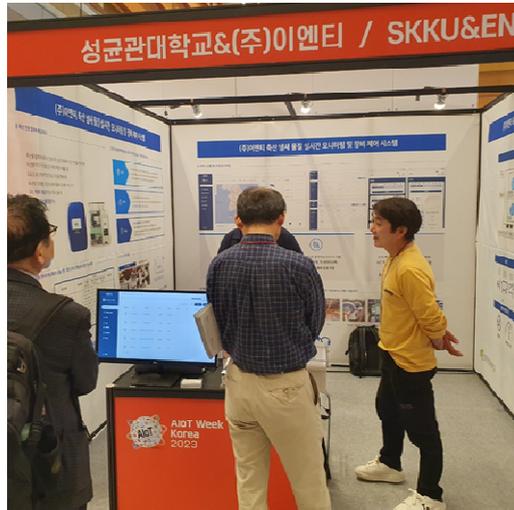
- 공동연구기관인 (주)베가스에서 개발된 악취 예측 모델을 서버 내에서 적용하기 위하여 온/오프라인 미팅을 통하여 개발 방안을 논의하고 웹 내에서 버튼을 통하여 저감 기술의 도입, 예측 모델을 위한 미팅을 진행함.



[그림 170] 온/오프라인 미팅 모습

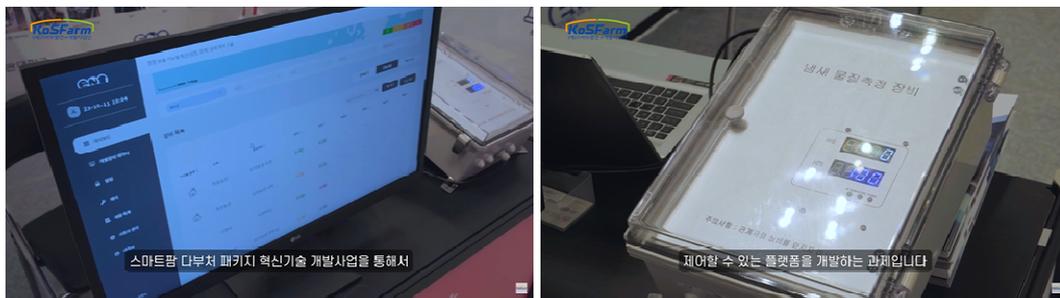
○ AIoT 전시회 참가 및 유튜브 홍보

- 공동연구기관인 (주)이엔티와 함께 서울 코엑스에서 열린 2023 AIoT 국제전시회에 참가하여 부스를 운영하고 부스를 찾은 50 여개의 기업 및 기관들에 과제 수행을 통하여 얻은 성과를 홍보하고 개발된 악취 모니터링 스마트팜 플랫폼을 시연함. 또한 악취 모니터링 및 저감 기술에 관심을 가진 이용자와 미팅을 진행함.



[그림 171] 좌: 2023 AIoT 전시회 브로슈어, 우: 부스 운영 사진

- AIoT 전시회와 연계하여 재단법인 스마트팜연구개발사업단에서 운영 중인 유튜브에 출연하여 과제를 통하여 얻어진 성과를 홍보함.



[그림 172] 유튜브 내 촬영본

○ 과제 총괄 논문 작성 및 투고

- 본 과제를 통하여 개발된 약취 모니터링 및 저감, 예측 모델에 대해 전부 아우르는 논문을 작성하여 JCR 상위 2% 내 저널인 Sustainable Cities and Society에 투고를 진행함. 이를 통하여 본 연구의 중요성을 알 수 있음.

Sustainable Cities and Society
Smart-farm management platform for monitoring and reducing stench compounds using IoT-based management system
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	SCSI-D-23-04537
Article Type:	Full Length Article
Keywords:	Smart-farm; real-time monitoring; graphene; resistance sensor; odor reduction
Corresponding Author:	Oh Seok Kwon, Ph.D. KOREA, REPUBLIC OF
First Author:	Oh Seok Kwon, Ph.D.
Order of Authors:	Oh Seok Kwon, Ph.D. Chan Jae Shin Sung Eun Seo Seongyeon Cho Seung Woo Jeong Tae-Young Heo Junsu Park Saemi Woo Byeol Oh Kwang-hyun Lee Prakash Gautam Lina Kim Soomin Kim Kyung Ho Kim Phyo Sooyeol Jiwon Lee Jai Eun An Seongjae Jo Gyeong-Ji Kim Hyun Seok Song
Abstract:	Addressing the challenges that malodorous emissions from agriculture pose to pig productivity, worker satisfaction, and residential quality of life, we've developed a comprehensive smart system to monitor and mitigate these malodors effectively. We have developed a malodor monitoring platform by integrating existing sensors for NH ₃ and H ₂ S with a newly fabricated bioelectronics nose (BE-nose). The BE-nose, constructed on a graphene resistance sensor, was designed to specifically detect the indole family (l: indole and 3-methylindole). Human olfactory receptors (hOR) are immobilized on this sensor to specifically sense the indole family. The limits of detection (LODs) for indole and 3-methylindole are 30.6 ppb and 32.8 ppb, respectively. To mitigate malodor, our platform utilizes a surfactant incorporated with bacteria to neutralize and manage malodorous compounds when their concentrations exceed predefined threshold levels. Through Internet of Things (IoT) technology, the odor concentration values obtained from the sensors are transmitted to the server and become accessible to remote users through a web page. The collected odor data were processed to develop a predictive algorithm for odor emissions. Our smart farm

Powered by Editorial Manager® and Production Manager® from Arises Systems Corporation

ARTICLE

Smart-farm management platform for monitoring and reducing stench compounds using IoT-based management system

Chan Jae Shin,^{1,2,3} Sung Eun Seo,⁴ Seongyeon Cho,⁵ Seung Woo Jeong,⁶ Tae-Young Heo,⁷ Junsu Park,⁸ Saemi Woo,⁹ Byeol Oh,¹⁰ Kwang-hyun Lee,¹¹ Prakash Gautam,¹² Lina Kim,¹³ Soomin Kim,¹⁴ Kyung Ho Kim,¹⁵ Sooyeol Phyo,¹⁶ Jiwon Lee,¹⁷ Jai Eun An,¹⁸ Seongjae Jo,¹⁹ Gyeong-Ji Kim,²⁰ Hyun Seok Song,¹ and Oh Seok Kwon^{1,2,3,*}

¹SKKU Advanced Institute of Nanotechnology (SAINT), Sangkyunkwan University (SKKU), Suwon, 16419 Korea

²Department of Nano Science and Technology, Sangkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

³Infectious Disease Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), 125 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Korea

⁴School of Chemical and Biological Engineering, Institute of Chemical Processes, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Korea

⁵Department of Environmental Engineering, Kansai National University, Gansan, 54150, Korea

⁶Department of Information & Statistics, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

⁷Animal Environment Division, National Institute of Animal Health, RDA, Jeonju 55363, Korea

⁸Research Department, ENT Co., Ltd, Jeonju 54001, Korea

⁹Consulting Department, BEGAS Co., Ltd, Seoul 04513, Korea

¹⁰Center for Sustainable Environment Research, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, 02792, Republic of Korea

¹¹Division of Energy & Environment Technology, Korea University of Science and Technology (UST), 217 Gajegong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34113, Republic of Korea

¹²Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 02792, Republic of Korea

¹³Department of Nano Engineering, Sangkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

¹⁴C.J.S. and S.E.S. contributed equally to this work

*To whom correspondence should be addressed:

Prof. H.S. Song: (E-mail) hsong@kist.re.kr

Prof. O.S. Kwon: (E-mail) oskwon79@skku.edu, oskwon729@gmail.com

[그림 173] Sustainable Cities and Society 저널 투고본

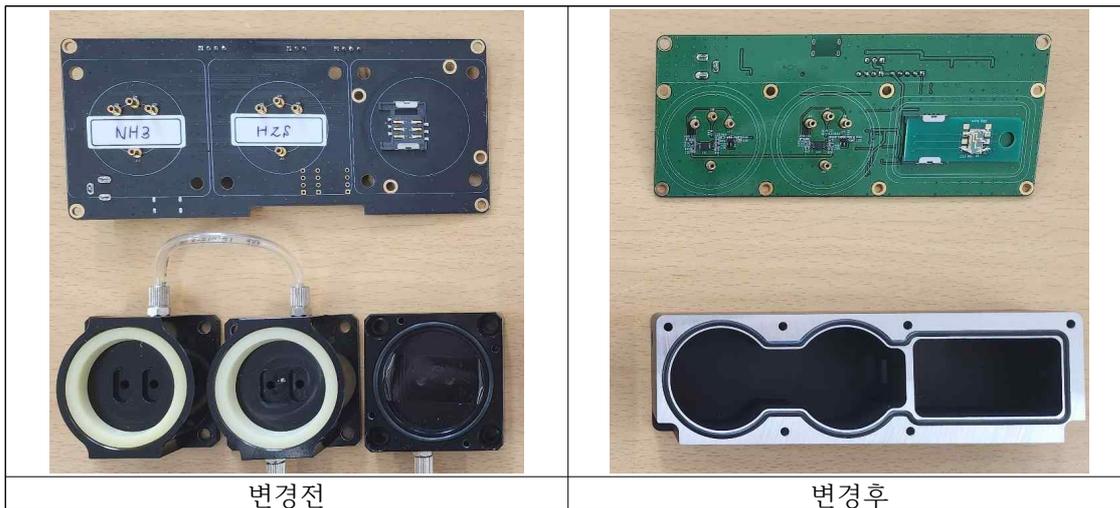
2) 공동연구기관: (주)이엔티

- 통합관제시스템 및 실시간 축산 냄새 감시 시스템(하드웨어, 앱, 웹) 기능 고도화

1. 하드웨어 개발 및 변경사항

가. 4채널 센서적용을 위한 펌웨어 및 센서보드 수정

총 6개의 센서 데이터(NH₃, H₂S, INDOLE, SKATOLE, BUTYRIC ACID, ISOVALERIC ACID)의 데이터를 처리하기 위해 4채널 반도체 센서를 위한 메인보드변경 및 펌웨어의 업그레이드를 진행하였다.



[그림]센서보드와 챔버의 변경

메인보드의 변경

4채널센서의 적용을 위해 보드의 신규제작 및 센서의 길이가 변경됨에 따라 챔버의 형태를 변경하였다. 기존 챔버와 다르게 일체형으로 구성하여 가스의 이동경로를 단순화 하여 변경하였다. 기존 챔버간의 에어호스가 없어서 구조가 단순해져 조립과 관리가 편리해진 장점이 있다.



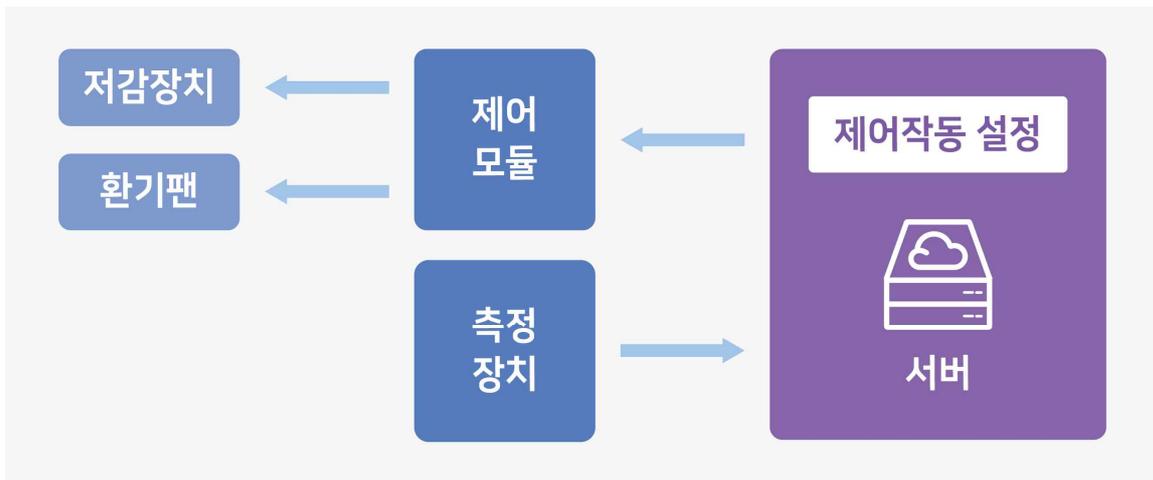
[그림]전면 디스플레이의 변경

전면 디스플레이의 변경

전면 디스플레이를 6개 데이터를 확인할 수 있도록 LED에서 LCD모니터로 교체하여 상황에 따라 다양하게 디스플레이를 구성할 수 있도록 변경하였다. 추후 상황에 따라 6개의 센서데이터 외에 다른 정보를 표출 할 수 있는 장점이 있다.

나. 원격제어를 위한 제어모듈 개발

- 통합관제시스템의 모니터소프트웨어와 연계하여 바이오커튼의 미세분사기등 악취저감장치의 원격제어가 가능하도록 통신이 가능한 제어모듈의 개발.



[그림]원격 제어모듈의 작동 과정

- 원격제어모듈의 개발 방향

현재 악취관리를 위한 시설기반이 구축된 양돈농가가 비교적 많지 않은 상태이며, 현재 운용되는 악취저감시설은 바이오커튼, 미세분부, 탈취탑정도이다. 그러나 강제환기 시설을 사용하는 돈사는 비교적 많은 편인데 대부분 환기를 위한 환기시설, 바이오커튼의 제어를 위해 단순한 온도제어 또는 타이머제어를 사용하고 있다. 이러한 단순한 제어를 악취가스 농도나 환기량의 변화에 따라 자율적으로 제어하기 위해 원격제어모듈을 개발하였다.

농가의 경제적 부담 감소를 위해 기존에 설치된 환풍기나 바이오커튼의 분사장치를 위한 제어기를 교환하지 않고도 이용할 수 있는 방안을 마련하였으며 원격으로 기존의 제어기 전원을 제어할 수 있는 방향으로 연구를 진행하였다.

릴레이를 통해 스위치 제어를 함으로 악취저감시설만이 아니라 기타 다른 장비나 장치(원치등)에도 활용할 수 있다.

하드웨어의 개발전략은 앞서 서술한것처럼 기존 제어기의 전원을 컨트롤하여 ON/OFF스위치의 역할을 대신함으로써 장치를 원격으로 제어하지만 스위치의 가동조건을 서버에서 여러 가지 요인을 적용하여 상황에 따라 원격가동이 이루어질 수 있다.

원격제어장치의 작동은 서버의 명령에 따라 작동하며 서버에서 내리는 명령은 측정장치에서 측정 한 가스의 농도 및 온·습도, 풍향, 풍속, 날씨등을 설정한 내역에 따라 작동할 수 있다.

기존 제어기의 기능을 활용함으로써 비용적 측면에서 뿐 아니라 서버의 장애등으로 제어모듈에 명령을 제대로 전달하지 못하는 상황에서도 기존 제어기의 기능이 작동하므로 안전성이 확보 가능하다.

원격제어장치와 기존 제어기를 연동하는 방법은 두가지의 방법으로 사용할 수 있다.

기존제어기의 전원을 컨트롤 하는 경우와 제어기에서 연결된 마그네틱 스위치의 제어를 같이 하는 경우인데 기존 제어기의 전원을 직접 제어하는 경우에는 서버와의 연결장애가 있을 시 릴레이의 전원을 무조건 ON상태로 작동하도록 하여 기존 제어기를 통해 작동이 가능하도록 하였다.

• 원격제어모듈의 통신

원격제어모듈의 제어를 위한 통신연결은 측정장치에 설치되어있는 LET라우터를 활용하여 서버와 연결을 위해 WIFI통신을 활용하여 제작하였다. 서버와의 연결은 WIFI연결을 사용하나 제어모듈의 설치시 모듈의 설정을 원활하게 하기 위해 Bluetooth를 사용하여 설정용 모바일앱을 이용하여 원격제어모듈과 연결하여 설정을 하도록 개발 하였다.

표 웹소켓 신호의 정의

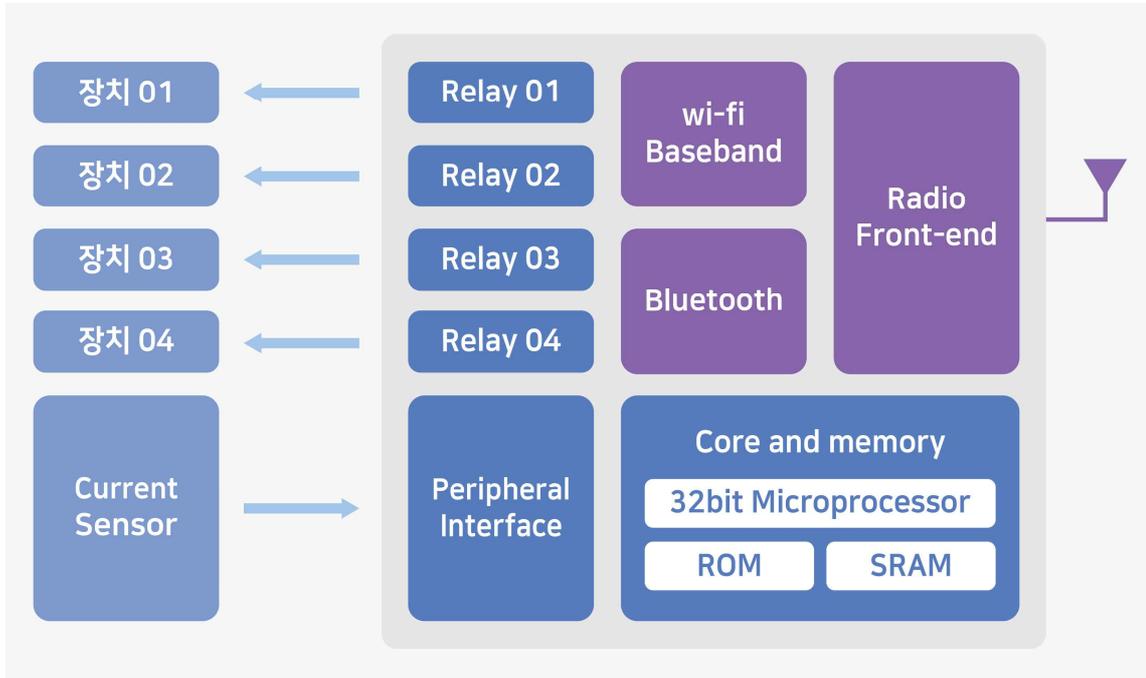
신호	기능
connectList	현재 연결되어있는 장치들
set	장치 설정 변경
state	장치 정보

기기의 동작 및 상태정보 확인등 약속된 신호를 통해 원격제어모듈과 양방향 통신이 가능하다. 장치를 제어하기 위한 신호를 전달하려면 서비스 품질을 위해 반드시 해당 장치가 웹소켓 서버에 접속했는지 확인한다. 웹소켓 서버에 접속하지 않은 장치에 대해서는 알림발생을 할 수 있도록 조치한다.

웹소켓 서버는 원격 제어장치부터 받은 상태정보 데이터와를 자신에게 연결된 브라우저와 스마트폰 앱 등의 클라이언트들에게 중개하는 역할도 하지만, 이들을 데이터베이스에 저장하는 역할도 한다. 웹소켓 서버는 장치들로부터 수신되는 사항을 데이터베이스에 기록한다.

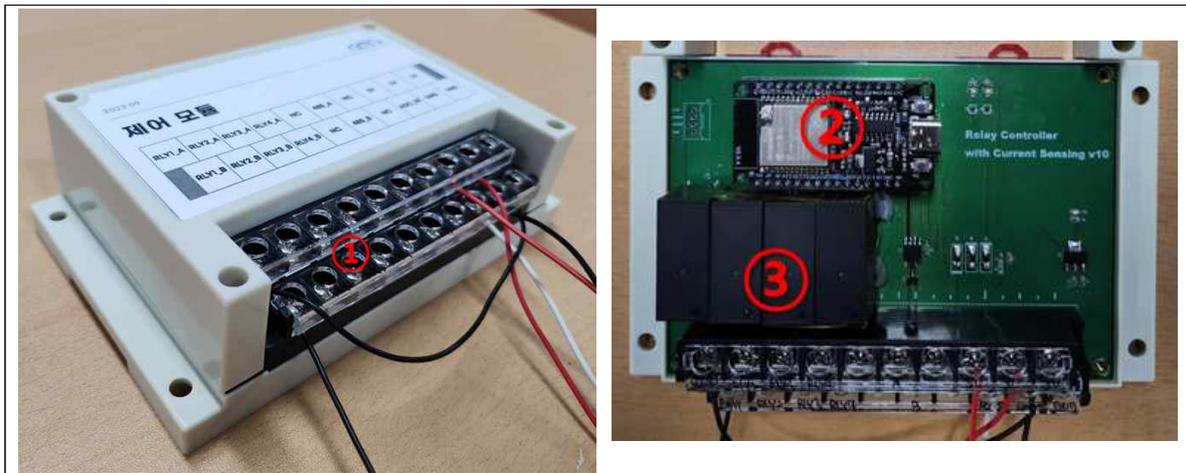
• 제어 모듈 및 제어 알고리즘

원격제어시스템을 구축하기 위해 서버에서 원격으로 구동시킬수 있는 제어모듈을 개발하여 시스템과 연동시켜 환기시설이나 바이오커튼등의 악취저감시설을 제어하거나 모니터링 할 수 있도록 진행하였다.



[그림]원격제어모듈의 구성도

원격제어모듈의 기본기능은 릴레이를 이용한 장치의 스위치 ON/OFF와 전류센서를 통한 환기팬의 작동상황을 모니터링 기능을 기본으로 하고 있다.



[그림]원격제어모듈

원격제어모듈의 구성은 ①기기연결부, ②통신메인보드, ③릴레이보드로 구성되어 있다 기기연결부에 제어할 장치들의 전원부분(마그네틱스위치 또는 기존제어기의 전원 등)에 연결하여 장치를 제어한다. 전류센서의 경우 환기장비의 전류량을 측정하여 환기장비의 작동상황을 측정하여 서버로 전송하여 모니터링이 가능하다.

통신메인보드는 WIFI, Bluetooth통신기능과 MCU를 포함하고 있는 기기의 메인보드이다. 메인보드와 연결되는 릴레이보드에는 릴레이와 기기연결부가 포함되어 있는 확장보드로 릴레이나 센서등의 추가를 위해 설계가 변경 될 경우에 릴레이보드만 변경 제작하여 메인보드와 연결할 수 있도록 개발하였다.

표 원격제어모니터링의 설정을 위한 모바일앱

	Conn	원격제어모듈과 연결을 하기 위한버튼
	Read	원격제어모듈을 설정값을 불러오는 버튼
	Write	원격제어모듈에 설정값을 저장하는 버튼
	Reset	원격제어모듈의 초기화를 위한 버튼
	Static or HHCP	IP설정의 자동 및 수동 선택
	IP Addr	IP의 입력(수동일 경우)
	Netmask	넷마스크 입력(수동일 경우)
	Gateway	게이트웨이 입력(수동일 경우)
	SSID	연결할 WIFI 네트워크의 이름
	PW	네트워크 연결 비밀번호 입력
	IP or DNS	접속할 서버의 주소 또는 IP선택
	Server IP	접속할 서버의 주소
	Server Port	접속할 서버의 포트
	MAC Addr	해당 장치의 맥어드레스
	전송주기(초)	모니터링을 위한 데이터 전송주기의 입력
	전류 오프셋	기기가 작동하지 않을 때 전류센서의 값 입력
	현재 전류값	현재 측정되고 있는 전류값
	장비명	장비의 이름입력
	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	릴레이의 작동테스트를 위한 항목

원격제어모듈의 설정은 Bluetooth통신을 이용한 모바일앱을 통해 설정이 가능하도록 제작하였다. 네트워크 접속설정 접속할 서버의 설정 및 환기팬의 모니터링을 위한 전류값을 설정을 할 수 있다.

제어모듈의 제작에 있어서 설치시 농가의 비용발생을 최소화 하는데 주력하였다. 초기버전에서는 최대한 간단한 장비로 최대의 효과를 만들기 위해 기존 설치되어 있는 제어반과 연동하는 방식을 채택하였고 제작단가를 낮게 유지할 수 있었다.

· 기본 제어 요인의 선정

원격제어모듈 통해 모니터링 할 수 있는 항목은 환기팬의 작동상황 및 4개의 릴레이 상태정보이다. 환기팬의 모니터링은 전류센서를 이용하기 기존에 설치된 환기팬의 전력선에 후크형태로 걸어 전류량을 측정한다. 환기팬이 작동하지 않을 때 측정되는 사용전류와 최대 작동시의 전류량을 저장하여 환기팬의 최대 작동과 최소작동을 모니터링 할 수 있다
 릴레이의 경우 릴레이의 ON/OFF 상태값을 서버로 전송하여 기기의 작동상태를 서버로 전송한다. 어떠한 상황에서 각각의 기기를 작동시킬지를 결정하는 원격제어모듈의 제어요인의 결정은 아래 표 처럼 선정하였다. 각 항목의 상태값을 이용하여 상황에 따라 연결된 기기의 제어를 할 수 있다. 각 항목은 원격제어모듈의 설치와 함께 각 현장에 맞게 설정해주어야 한다.

표 82 원격제어를 위한 제어요인

항목	내용	기타
제품명	설정된 작동 알고리즘이 적용될 제어 모듈	기본제어요인
NH3최댓값	기기 작동을 시작하는 암모니아 측정값	기본제어요인
NH3최솟값	기기 작동을 정지하는 암모니아 측정값	기본제어요인
H2S최대값	기기 작동을 시작하는 암모니아 측정값	기본제어요인
H2S최솟값	기기 작동을 위한 황화수소의 측정값	기본제어요인
온도	기기 작동을 위한 온도 측정값	기본제어요인
습도	기기 작동을 위한 습도 측정값	기본제어요인

· 돈사 유형별 초기 알고리즘 구축

원격제어모듈의 초기 제어 알고리즘은 H2S, NH3, 온도의 측정값을 기준으로 돈사의 유형이나 특징에 따라 환기팬이나 윈치, 바이오커튼등의 제어가 가능하도록 직접 항목의 제어기준을 입력하여 제어 할 수 있다. 돈사에 따라 설정값을 다르게 설정하여 각 돈사의 특징과 사용하는 기기에 맞게 설정할 수 있다. 다만 각 돈사마다 환경에 맞도록 초기 알고리즘을 설정 해주어야 하는 번거로움이 있으나 1회에 한해 설정하면 되고 또한 돈사의 환경이 변화하면 모니터링시스템을 통해 손쉽게 대응할 수 있도록 개발하였다.

· 현장 맞춤형 지능형 및 학습형 알고리즘의 구현

원격제어모듈의 현장 맞춤형 및 학습형 알고리즘의 구현을 위해서 예·경보 알고리즘과 현장 기상 상황을 적용할 수 있도록 시스템에 기능을 추가하여 개발하였다.

제품명	NH3 설정	H2S 설정
신흥농장 외부02	on	off
온도 설정	풍향 설정	풍속 설정
off	off	off
습도 설정	날씨 설정	NH3 최댓값
off	off	3
NH3 최솟값	H2S 최댓값	H2S 최솟값
2		
온도 최댓값	온도 최솟값	작동 풍향
		항목을 선택하세요.
풍속 최댓값	풍속 ON/OFF	작동 습도
	항목을 선택하세요.	
작동 날씨	컨트롤러1	컨트롤러2
항목을 선택하세요.	항목을 선택하세요.	항목을 선택하세요.
컨트롤러3	컨트롤러4	
항목을 선택하세요.	항목을 선택하세요.	

저장 삭제 취소

[그림] 원격제어모듈 알고리즘 구성을 위한 설정 및 설정값 입력 페이지

축적된 데이터를 통한 예·경보 알고리즘에서 발생한 예측데이터를 적용하여 실시간 측정값에 의한 기기의 작동보다 선제적으로 기기를 작동할 수 있도록 적용할 수 있다. 예측데이터를 활용한 선제적 기기의 작동과 함께 각 농장에 맞도록 기상정보를 이용할 수 있도록 개발 하였으며 농장의 위치정보와 지리정보를 활용해 주변 마을에 영향을 고려하여 풍향과 풍속에 따라 바이오커튼등의 악취저감장치를 작동할 수 있다.

알고리즘의 구성은 사용자가 설정페이지를 통해 구성할 수 있다. 페이지의 항목별 조건을 선택하고 저장을 하면 완료된 설정조건에 따라 원격제어모듈이 작동한다.

[그림]원격제어모듈의 제어요건 적용유무의 선택

원격제어모듈의 알고리즘을 구성하기 위한 첫단계는 제어요인의 사용 유무를 설정하는 것이며 제어요인(NH3, H2S, 온도설정, 풍향설정, 풍속설정, 습도설정, 날씨설정)에 대해 적용을 할것인지 아닌지에 대한 설정을 한다. 각 제어요인의 사용을 OFF로 적용하면 해당 제어요인은 원격제어모듈의 작동에 영향을 주지 않는다. 현재는 ON으로 적용해놓은 요인이 하나라도 충족할 경우 원격제어모듈이 작동한다. 추후 고도화를 통해 각 항목을 선택적으로 연계하여 작동할 수 있도록 개발을 진행할 예정이다.

[그림]원격제어모듈 제어요인의 설정

현장 맞춤 제어를 위해서 앞서 제어요인의 설명에서 언급한 NH3, H2S, 온도, 습도화 함께한 기후정보 활용을 위한 입력이 필요하다.

작동풍향, 풍속최댓값, 풍속ON/OFF, 작동날씨, 작동습도, 컨트롤러(릴레이)의 항목에 대해 조건에 따라 각각의 릴레이를 선택적으로 구동할 수 있도록 설정할 수 있다. 기상정보수집장치가 설치되어 있지 않은 경우에는 기상청의 데이터를 사용할 수 있도록 제작하였다.

표 83 현장맞춤 제어를 위한 원격제어를 위한 제어요인

제어요인	내용
작동풍향	풍향을 8방향(E, W, S, N, SE, SW, NE, NW)으로 나누어 풍향에 따라 작동의 유무를 설정할 수 있다. 농가의 위치정보를 통해 농가 주위의 환경에 따라 특정방향으로 바람이 불 때 바이오커튼등의 약취저감장치를 작동시킬 수 있다. 농가마다 지리정보를 통해 주변민가나 상황등을 파악해 해당 바람의 설정방향을 입력하여 설정한다.
풍속 최댓값	작동하는 풍속의 값을 입력할 수 있다. 설정된 풍속 이상에서 풍향설정이 작동한다.
풍속 ON/OFF	풍속설정의 사용유무에 대해 설정할 수 있다.
작동날씨	작동날씨 설정은 기상청 날씨정보데이터를 활용하여 작동유무를 설정할 수 있다.(비, 눈, 흐림, 맑음) 비가오거나 흐린날에 작동한다거나 맑은날에 작동한다거나 하는 설정을 할 수 있다.
작동습도	작동습도는 돈방의 외부 습도를 기준으로 설정한다.
컨트롤러	릴레이의 작동유무를 설정하는 항목이다. 기본적으로 미리 입력해둔 항목을 선택할 수 있게 디자인되어 있으나 항목은 상황에 따라 추가할 수 있다.

약취예보 카테고리라 해당 제어요인의 설정을 통해 풍향이나 날씨정보, 위치정보등을 접목한 다양한 현장의 상태에 따라 여러 가지 방법으로 약취의 제어를 시도해 볼 수 있다.

User-Defined-Algorithm (UDA)를 활용한 추후 알고리즘 고도화 방안 마련

알고리즘 고도화는 목표는 제어요인이 사용자의 선택에 따라 연동하거나 상호작용하도록 개발하는 것이다. 별도의 지식없이 최대한 사용자가 의도하는데로 기기가 작동할 수 알고리즘 설정이 가능하도록 인터페이스의 개발이 필요하다.

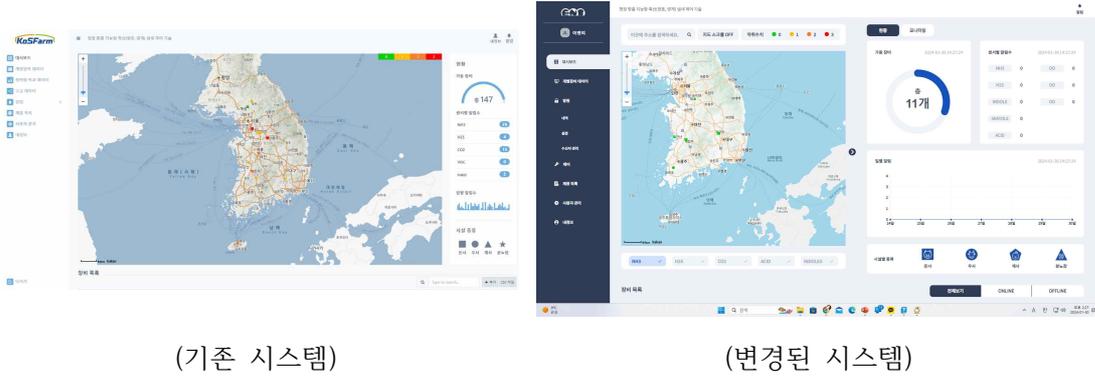
제어요인의 연동과 더불어 다양한 시간설정이 가능하도록 하는 기능의 개발도 필요하며, 작동 후 설정한 시간이되면 종료하거나 특정 요일 및 특정 시간에 작동과 정지가 가능하도록 하는 타이머 기능의 개발이 필요하다.

타이머의 기능도 제어요인과 연동되어 제어요인마다 각각 다양한 시간 설정이 가능하도록 기능추가가 필요하다.

- 사용자 설정이 가능한 제어요인의 조합기능
 - 사용자가 임의대로 여러 제어요인을 연동.
 - 사용자 임의로 제어요인에 우선순위를 부여.
 - 제어요인 및 컨트롤러에 대한 정지타이머 설정
 - 제어요인별 요일별 작동 일정 설정
 - 작동시간 지연설정
 - 제어요인별 순차적 적용 설정

2. 모니터링 시스템의 고도화

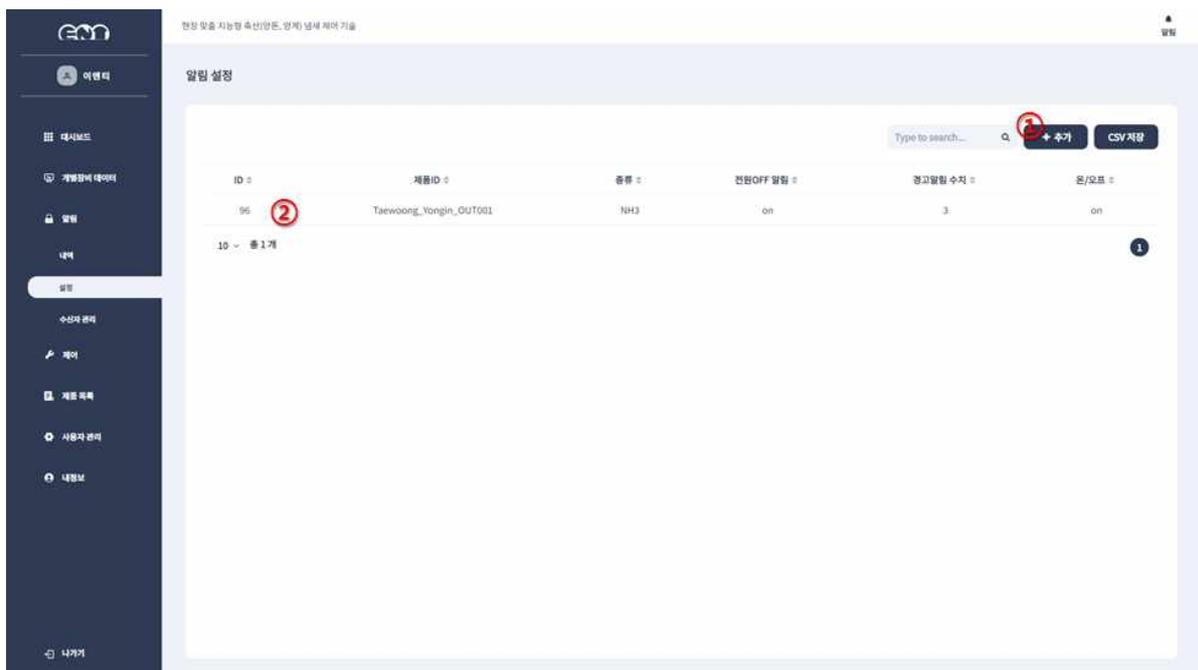
다. 전체 디자인 및 UI변경



모니터링 시스템의 고도화를 위해 추가된 여러기능을 통합하기 위해 시스템은 전체적인 UI를 다시 디자인하여 전체 시스템의 인터페이스를 변경하여 적용시킨 새로운 디자인으로 통합하였다.

라. 신규추가 기능

- 알람의 설정



[그림] 알람의 설정 화면(알림설정 리스트)

경보나 알림을 받기 위해서는 알림이 발생하기 위한 기기나 조건을 설정하여야 한다. 알림의 설정을 위해서는 시스템창 좌측의 알림 설정 메뉴에서 설정할 수 있으며 해당 페이지에서 알림을 설정할 경우 알림 설정 리스트가 생성되어 수정 또는 삭제도 가능하다.

알림 설정은 기기별로 하며 설정을 하지 않으면 알림이 발생하지 않는다. 따라서 알림을 설정하기 위해서는 페이지 좌측상단 ①번 추가 버튼을 클릭하여 기기별로 알람을 설정하여야 한다. 기기별 알림 기능을 설정한 경우 ②처럼 설정된 기기의 설정 목록이 생성된다. 생성된 알림 설정을 선택하여 수정할 수 있다.

알림 설정은 알림을 설정할 기기의 선택, 알림 항목의 설정, 항목의 수치 입력의 단계로 이루어진다. 현재 이상 징후에 대한 알림 설정은 암모니아, 황화수소의 설정 수치 이상발생 및 측정기기의 연결상태에 대해 이루어진다.

[그림] 상태이상 알림설정 및 설정 항목

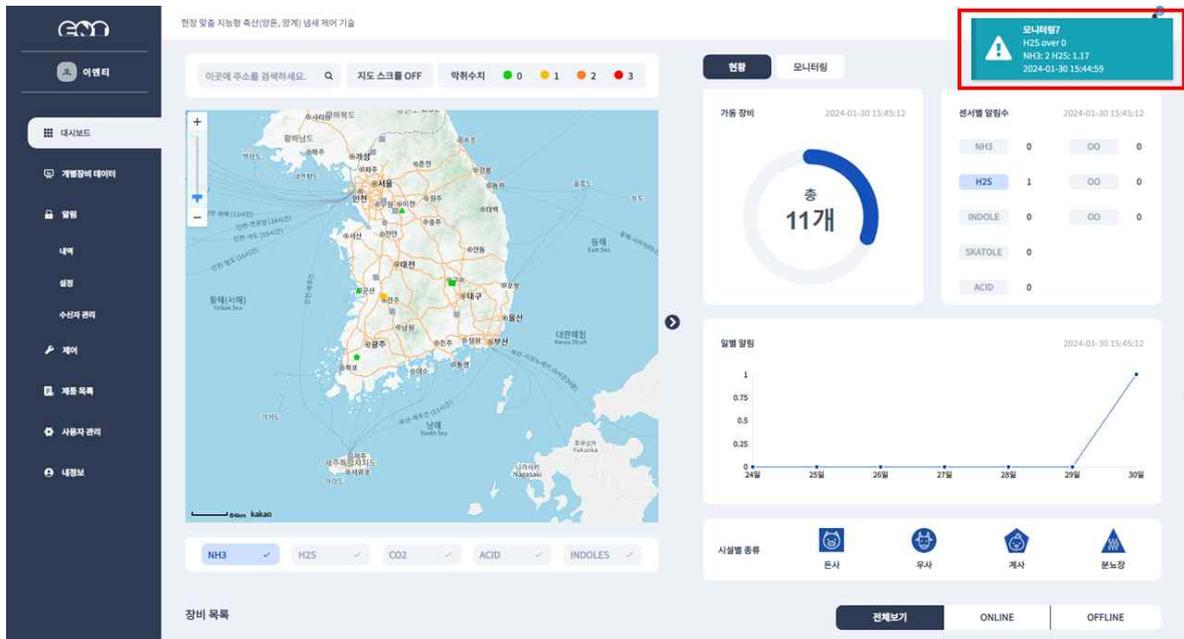
알림 설정 항목은 제품ID, 항목, 실행을 위한 온/오프, 경고알림 수치, 전원OFF알림을 설정하여야 한다. 추후 항목의 확장을 고려하여 센서의 종류별로 단일화 하였으나 최종적으로는 원격제어모듈의 제어요소와 연동이 필요함으로 다음차 고도화를 통해 제어요소와 연동을 위한 변경이 필요하다.

표 85 알림설정 항목 및 내용

항목	내용
제품ID	알림을 적용할 기기명을 선택한다.
종류	암모니아, 황화수소 중 설정할 항목을 선택한다.
온/오프	알림을 사용할지를 설정 오프로 선택하면 알림이 발생하지 않는다.
경고알림 수치	설정된 항목에 대해 알림을 발생하기 위한 기준 수치를 입력한다.
전원OFF 알림	측정기기의 전원이 꺼지거나 네트워크 연결 단절시 발생하는 알림의 사용유무

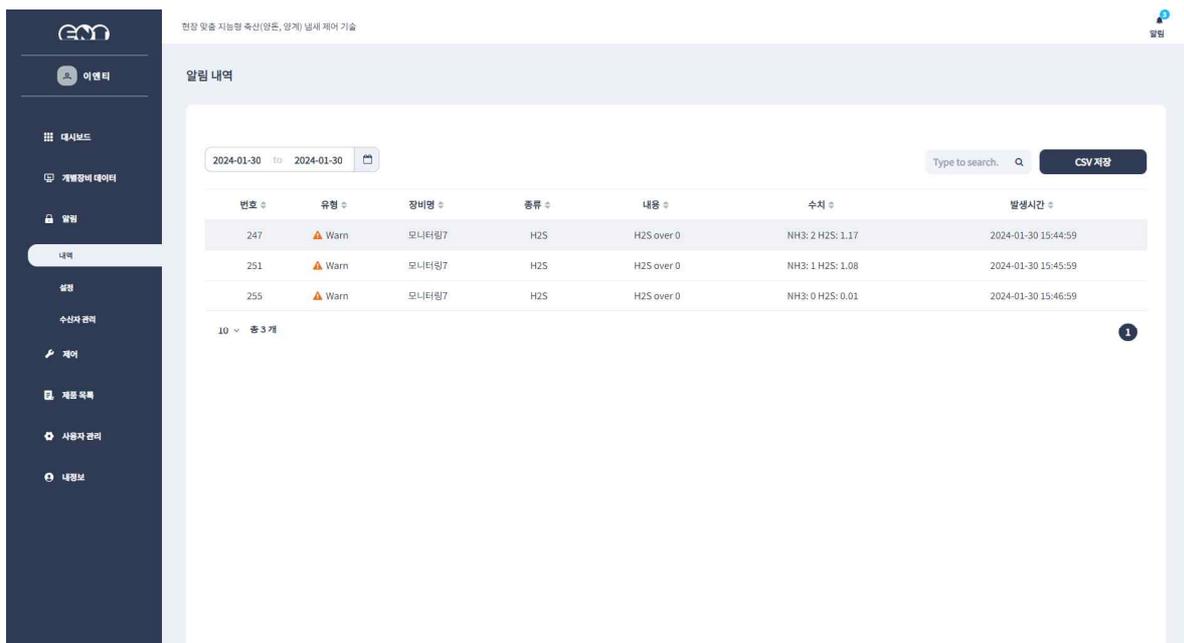
- 알림의 발생 및 확인

알림이 발생할 경우 시스템상에 알림에 대한 알림상자가 발생하며, 해당 알림상자를 확인(클릭)하기 전에는 알림상자가 사라지지 않는다.



[그림] 알림상자 - 알림이 발생했을 경우 알림상자 표시

알림이 발생한 경우 위 그림처럼 우측 상단에 알림 상자가 나타나며 알림 상자에는 알림 내용이 표기된다. 해당 내용을 클릭하여 알림 상자를 해제할 수 있으며, 알림 상자를 해제한 이후 해당 알림을 다시 확인하거나 기존 알림을 확인하고자 할 때는 우측 상단의 알림 아이콘을 클릭하거나 좌측메뉴바에서 알림내역 메뉴를 클릭하여 지난 알림을 확인할 수 있다.



[그림] 알림내역 - 지난 알림을 확인

알림 내역 페이지로 이동하면 과거의 알림을 모두 확인할 수 있으며, 상단의 기간 설정을 통해 특정 기간의 알림 내용만을 확인할 수 있는 기능이 있다. 장비나 알림 종류별로 정렬할 수 있으며 엑셀에서 사용할 수 있도록 CSV파일로 다운로드가 가능하다.

- 수신자 관리

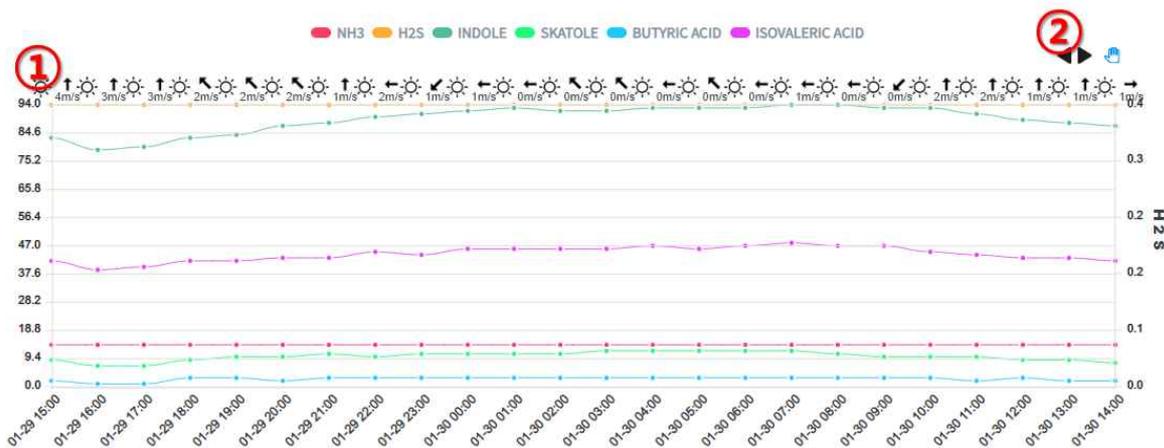
알림이 발생 할 경우 알림을 수신할 수 있는 대상을 설정할 수 있으며, 알림은 설정된 수신자에게만 발송 된다. 수신자설정은 등록된 사용자계정에서 알림을 받을 사람을 선택하는 형태로 이루어지며, 수신자로 선택한 아이디에 한해 알림이 발송된다.



[그림] 수신자 관리 페이지

수신자의 등록은 좌측메뉴바에서 수신자 관리 메뉴를 통해 이동하며, 해당 페이지에서 수신자 등록을 할 수 있다. 수신자의 등록을 위해서 알림을 수신할 위 그림의 ①사용자ID를 선택하고 ②등록버튼을 클릭하여 등록을 마친다. 등록이 완료되면 하단 ③수신자목록에 추가된 것을 확인할 수 있다. 수신자의 삭제는 수신자목록에서 삭제할 수신자를 선택하고 선택삭제 버튼을 클릭하여 삭제한다. 수신자의 등록이 완료되면 등록된 수신자는 모니터링시스템에서 알림을 받을 수 있다.

- 데이터그래프 변경



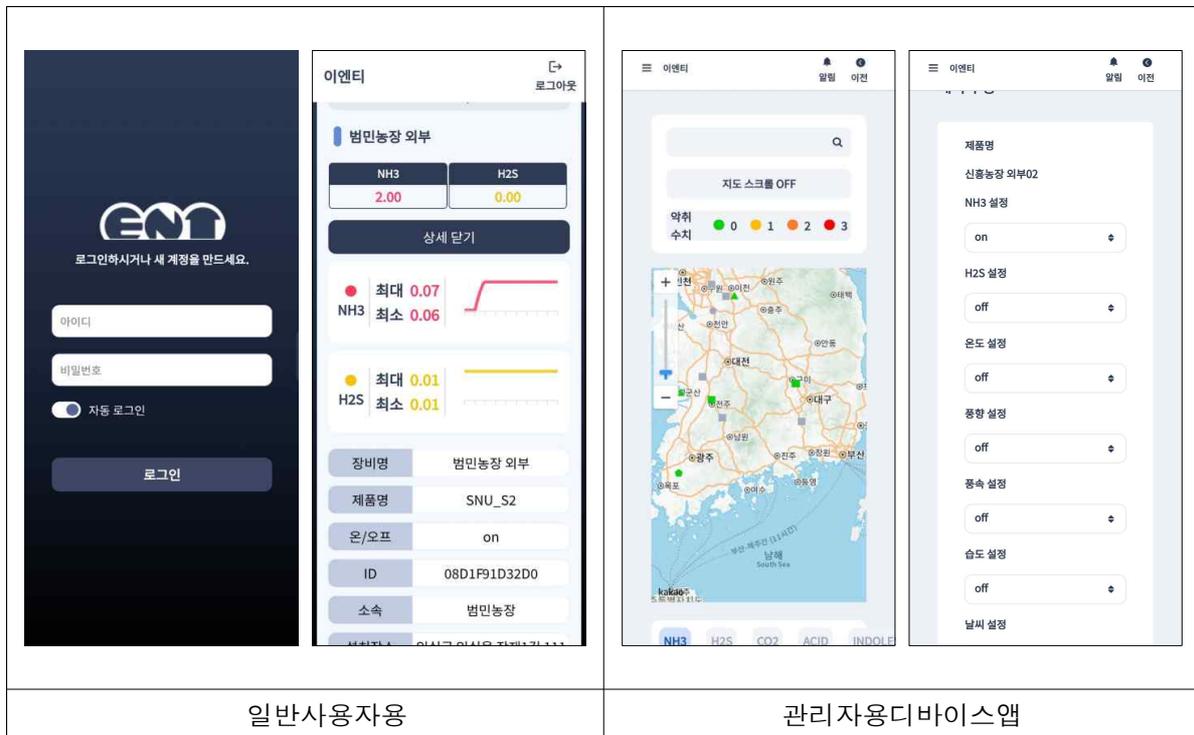
데이터보기 그래프에 ①날씨기능을 추가하여 해당 측정시간의 날씨를 동시에 확인할 수 있도록 기능을 추가하였다. 풍향 및 풍속은 제어모듈의 제어요인으로 사용할 수 있어 농가 특성에 따라 특정지역으로 바람이 흐를 때 약취 저감장치등을 작동할 수 있다. ②의 화살표와 손바닥아이콘을 이용해 그래프를 좌우로 이동할 수 있다 실시간 그래프의 경우 데이터가 추가되면 실시간으로 해당데이터가 추가된다.

- 모바일 앱 고도화

모바일 앱의 경우 초기버전에서 웹의 인터페이스와 기능을 거의 동일하게 제작하였으나 농장주 및 실 사용자의 의견이 최대한 단순하게 제작해달라는 피드백에 따라 암모니아와 황화수소의 모니터링기능 위주로 다시 제작하였다.

- 기개발된 스마트디바이스앱과 연동하여 농장주 및 돈사 인근 주민의 지속적인 악취 평가 기능을 추가해 악취 저감 기술을 통한 농가 인근 민원 개선도 파악 및 실시간 피드백을 통한 기술 고도화를 진행할 예정임.

표 스마트디바이스앱의 구성



대부분의 농장주의 경우 고령인 경우가 많고 디지털접근성이 떨어지는 경향이 있어 다양한 기능보다 단순하고 보기 편한 모바일앱을 원하는 반응이 많아 단순한 기능의 모바일앱으로 새롭게 제작하였다. 다만 설치관리자의 경우 설정기능이 필요하여 웹버전을 모바일 인터페이스에서 사용할 수 있도록 개발하고 원격제어모듈을 설정하기 위해서 설정에 사용하는 앱을 따로 분리하여 제작하였다.

신규제작된 농가용 모바일앱은 해당 장치의 모니터링기능 위주로 단순화 하여 수치 확인에 주목적을 두어 제작 하였다.

- 6종 이상의 데이터 표출을 위한 인터페이스의 변경

기본적으로 6종의 데이터를 표기하며 추후 센서데이터나 기타 데이터의 종류가 늘어났을 경우 추가가 용이한 형태의 인터페이스로 변경하였으며 원격제어모듈의 현재상태를 확인할 수 있는 아이콘 추

가되어 4개의 장치와 1개의 전류센서의 상황을 모니터링 할 수 있다.
 예측데이터(약취예보)를 확인할 수 있도록 버튼을 추가하여 예보데이터를 확인할 수 있다.

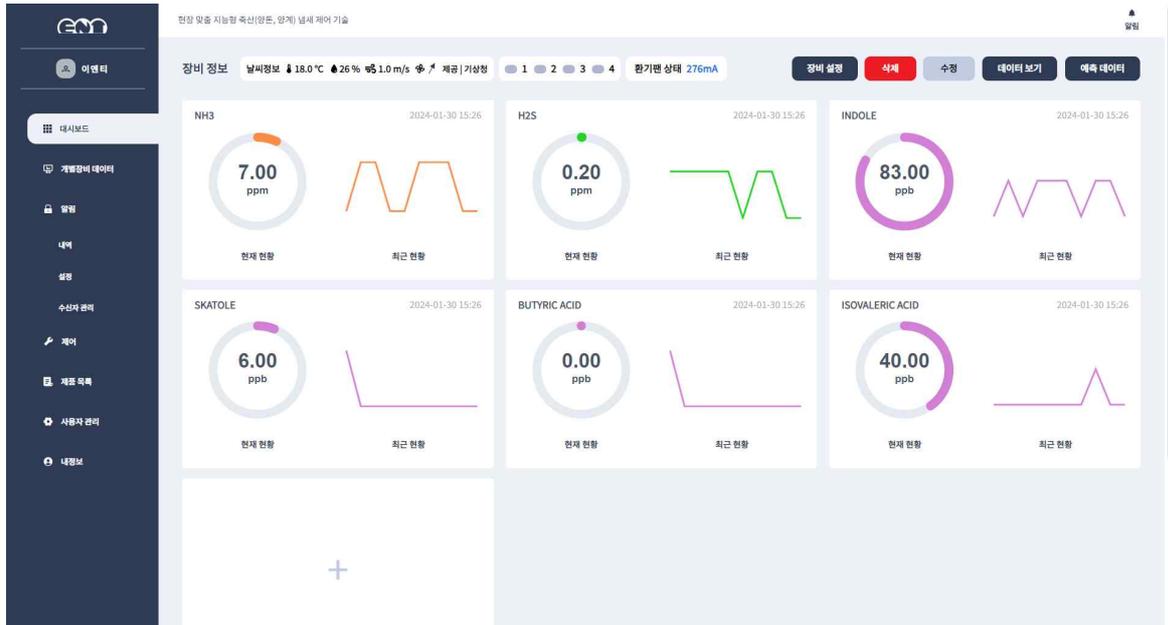
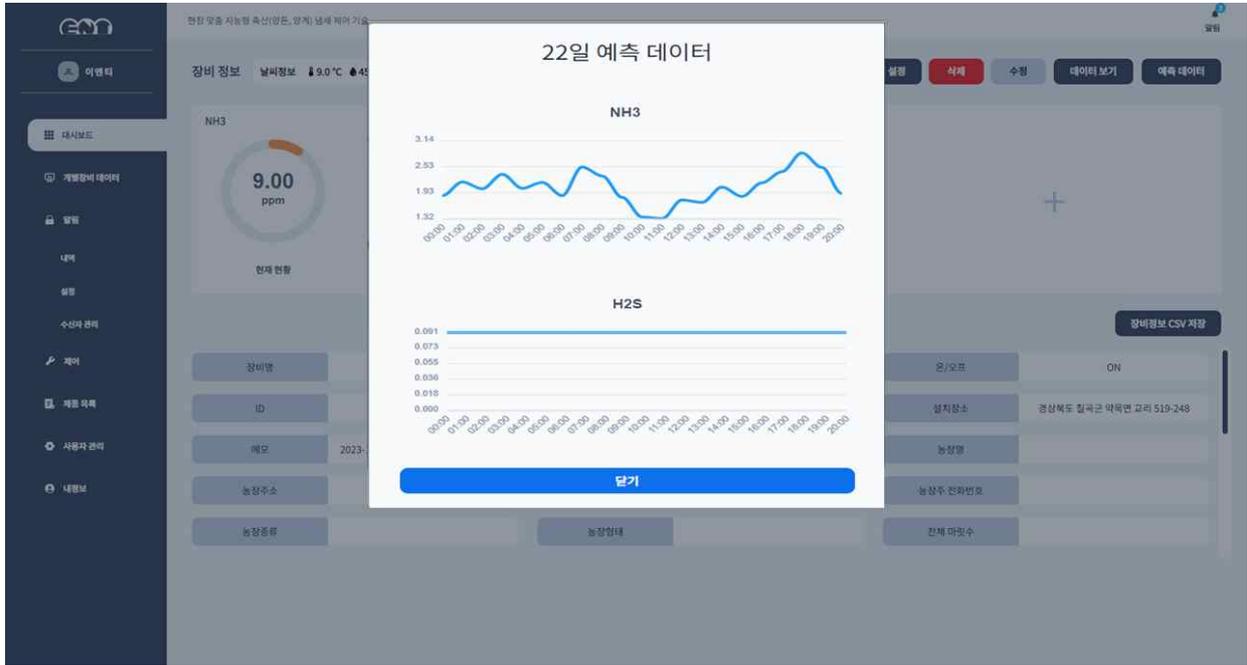


그림 이상의 데이터 표기를 위한 인터페이스의 변경

- 예보시스템

예보시스템을 활용하여 알림을 설정할 수 있다 예보시스템은 공동연구기관인 (주)베가스에서 시스템을 제작하여 서버에 적용하였다. 일기예보처럼 하루의 가스농도를 예측하여 그려주는 시스템으로 알림을 실시간에 적용하거나 예보 그래프에적용하여 선택적으로 발송할 수 있다.

예측데이터 그래프는 예·경보 알고리즘을 통해서 도출되며 각 농장에따라 설정된 시간에 해당 기기의 하루 그래프를 예측하여 그려주도록 개발하였다. 해당그래프는 각 기기별 장비정보를 통해 확인할 수 있다. 해당그래프의 알림서비스를 해당 정보에 적용하여 예보시스템이 구성된다.

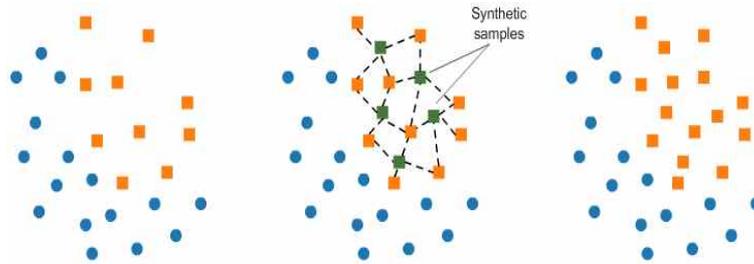


[그림]예측데이터 그래프 (21일 20시에 생성된 그래프)

3) 제 2 공동연구기관: (주)베가스

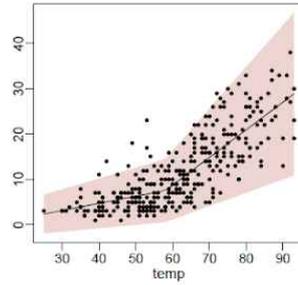
○ IoT 빅데이터 및 인공지능 기반 알고리즘 고도화 수행

- 기존 알고리즘의 성능 개선을 위해 각 단계별 고도화 방안 검토 및 적용
- (학습 단계) 데이터 불균형 해결을 위한 데이터 생성 기법 적용
- . 악취의 발생이 적은 농가의 경우, 예측에 어려움 발생 가능
- . 데이터 생성 기법을 적용하여 악취와 정상 데이터의 균형을 맞추어 학습 수행



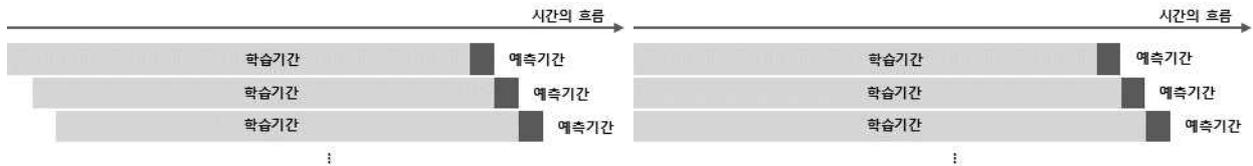
[그림 xx] 합성데이터 생성을 통한 데이터 균형 방안 도식화

- (예측 단계) 구간 추정 기법 적용
- . 정확한 값을 예측하는 목적 역시 악취 발생 여부 예측을 위한 것임
- . 점(선) 보다는 구간(면)이 현상을 더 잘 설명하는 경우가 많음
- . 구간 추정을 통해 유의수준 별 알람기준 설정이 가능



[그림 xx] 구간추정 예시-선보다 면이 데이터를 더 잘 설명

- (평가 단계) 윈도우 슬라이딩 기법 적용
- . 최근 데이터를 학습에 반영하여 성능 개선 효과를 기대



[그림 xx] 윈도우 슬라이딩 방식

- IoT 빅데이터 및 인공지능 기반 알고리즘의 시스템 적용 및 운영 테스트 수행
- 신흥 농장을 대상으로 시스템 적용 및 운영 테스트 수행 완료
- . 할당받은 컨테이너 내부에 도커 형식의 알고리즘 및 모형 적용
- . 설정된 주기(학습: 매주 월요일 9시, 예측: 매일 10시)에 따른 배치 작업 수행
- . 예측 결과는 지정된 테이블(pred_results)에 저장

- 환경 및 도커 확인 방법
- . 가상환경 정보

항목	내용
OS (버전)	Ubuntu (20.04)
개발언어, 툴(버전)	R, Rstudio (4.3)

- . 도커 이미지 불러오기

```

실행 명령어
docker load -i [파일명].tar

결과 화면
root@venus:/home/ras# docker load -i smartfarm_7.0.tar
Loaded image: smart-farm:7.0
root@venus:/home/ras#

```

- . 도커 이미지 확인

```

실행 명령어
docker images

결과 화면
root@186ba8dbac7:/var/log# docker images
REPOSITORY          TAG             IMAGE ID        CREATED         SIZE
dev-0014            master         bd21df164a14   11 days ago    18.1GB

```

- . 도커 컨테이너 생성

실행 명령어
docker run [이미지명]
결과 화면
<pre>root@venus:/home/ras# root@venus:/home/ras# docker run --rm -itu 0 smart-farm:7.0 root@fc58905a7607:~#</pre>

. 도커 컨테이너 실행

실행 명령어
docker start [컨테이너명]
결과 화면
<pre>root@venus:/home/ras# docker start 4a465b37f7a4 4a465b37f7a4</pre>

. 도커 컨테이너 확인

실행 명령어
docker ps -a
결과 화면
<pre>root@186ba8dbac7:/var/log# docker ps -a CONTAINER ID IMAGE COMMAND CREATED STATUS PORTS NAMES a6ba1e5af1b7 dev-0014:master "/bin/bash" 6 days ago Up 11 hours 8888/tcp smartfarm_r2.0</pre>

- 학습 및 예측 자동 실행 및 결과 확인

. 모델 학습 및 예측 코드 자동 실행(크론탭)

실행 명령어
crontab -e
결과 화면
<pre>m h dom mon dow command 04 07 * * * /usr/sbin/nsight_updater > /tmp/.nu_log 2> /tmp/.nu_err.log #매주 06시 00분 DB 백업 00 06 * * * /home/ntent/script/db_backup.sh # restart docker 0 0 * * * /root/restart_docker.sh # 매주 월요일 학습 진행 0 10 * * * docker exec smartfarm_r2.0 Rscript /home/someone/smartfarm/5.\ SRC/train_core_ver3.0.R "90380C95A3FC" "2023-01-01" "2024-12-31" # 매월 01일 예측 진행 10 10 * * * docker exec smartfarm_r2.0 Rscript /home/someone/smartfarm/5.\ SRC/prediction_core_ver6.0.R "90380C95A3FC" "2023-08-01" "2024-12-31" # test ~/tmp/crontab.XaWhTT/crontab" 14L, 586C 1,1</pre>

. 예측 결과물 확인(DB)

실행 명령어						
SELECT * FROM odor.pred_results						
결과 화면						
	ABC device_id	ABC train_dt	ABC yvar_name	base_time	pred_time	123 pred_val
1	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 16:00:00.000	2023-04-28 04:00:00.000	3.888
2	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 17:00:00.000	2023-04-28 05:00:00.000	3.375
3	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 18:00:00.000	2023-04-28 06:00:00.000	4.393
4	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 19:00:00.000	2023-04-28 07:00:00.000	5.464
5	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 20:00:00.000	2023-04-28 08:00:00.000	5.042
6	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 21:00:00.000	2023-04-28 09:00:00.000	5.369
7	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 22:00:00.000	2023-04-28 10:00:00.000	4.38
8	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-27 23:00:00.000	2023-04-28 11:00:00.000	4.043
9	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 00:00:00.000	2023-04-28 12:00:00.000	5.833
10	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 01:00:00.000	2023-04-28 13:00:00.000	4.923
11	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 02:00:00.000	2023-04-28 14:00:00.000	4.543
12	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 03:00:00.000	2023-04-28 15:00:00.000	5.436
13	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 04:00:00.000	2023-04-28 16:00:00.000	5.436
14	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 05:00:00.000	2023-04-28 17:00:00.000	4.173
15	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 06:00:00.000	2023-04-28 18:00:00.000	5.004
16	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 07:00:00.000	2023-04-28 19:00:00.000	5.065
17	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 08:00:00.000	2023-04-28 20:00:00.000	5.004
18	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 09:00:00.000	2023-04-28 21:00:00.000	5.551
19	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 10:00:00.000	2023-04-28 22:00:00.000	5.555
20	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 11:00:00.000	2023-04-28 23:00:00.000	5.004
21	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 12:00:00.000	2023-04-29 00:00:00.000	5.638
22	90380C95A3FC	20231020	y_암모니아	2023-04-28 13:00:00.000	2023-04-29 01:00:00.000	4.941

4) 공동연구기관: 국립축산과학원

<양계 축사 유형 · 약취발생원별 약취 DB 구축(n=75)>

○ 산란계농가 약취발생원별 약취물질 모니터링 결과(n=42)

- 산란농가의 계사내부, 계사배기팬(배출구), 계분퇴비(챔버), 퇴비사에서 약취를 측정하고 DB를 구축하였음
- 약취공정 시험법에 따라 지정약취물질 22종을 분석하였으며, 비지정 약취물질 6종을 추가적으로 분석하였음

측정결과 기술통계 (산란계)(챔버측정 제외)

구분	지정약취물질	측정지점 별 농도*(avg)				최소감지농도
		부지경계 (n=14)	환기팬 (n=10)	계사내부 (n=7)	퇴비사 (n=7)	
복합약취	○	10.7143	13243.36	74.60	54.50	-
NH ₃	○	0.43	370.13	4.88	1.93	0.1
Trimethylamine(TM A)	○	1.38	1329.99	10.72	5.10	0.1
H ₂ S	○	0.58	6.87	3.55	4.76	0.5
MM	○	0.08	125.36	0.61	0.55	0.1
DMS	○	0.61	249.92	0.48	0.26	0.1
DMDS	○	0.11	71.27	0.13	0.73	0.3

Acetaldehyde	○	3.03	99.20	23.02	3.87	2
Propionaldehyde	○	0.31	12.89	2.49	0.15	2
Butylaldehyde	○	0.00	4.85	0.00	0.00	0.3
iso-Valeraldehyde	○	0.00	13.81	0.00	0.00	0.2
n-Valeraldehyde	○	0.00	0.00	0.00	0.00	0.7
Styrene	○	0.58	0.98	0.39	2.73	440
Toluenes	○	6.56	2.84	5.26	9.82	10
Xylene	○	13.85	27.29	9.56	24.13	200
Methyl ethyl keton(MEK)	○	2.71	946.79	13.34	3.88	900
Methyl isobutyl keton	○	0.10	1.70	0.00	0.36	16
Butyl acetate	○	0.00	0.30	0.00	0.00	30
iso-Butyl alcohol	○	0.00	18.35	0.00	0.00	380
Propionic acid	○	0.68	0.99	0.97	0.90	5.7
n-Butyric acid	○	0.14	1.19	0.33	0.25	2
l-Valeric acid	○	0.04	0.43	0.08	0.06	1.5
n-Valeric acid	○	0.05	0.07	0.10	0.07	0.07
Acetic acid	X	2.33	4.22	4.54	3.17	0.05
l-Butyric acid	X	0.07	0.29	0.10	0.09	0.1
Phenol	X	0.03	3.23	0.06	0.04	0.28
p-Cresol	X	0.02	0.31	0.05	0.04	0.054
Indole	X	0.02	0.41	0.02	0.02	0.3
Skatole	X	0.07	0.03	0.05	0.06	0.0056

* 단위 : NH₃(ppm), 그 외 물질별 농도(ppb), 복합악취(배)

○ 육계농가 악취발생원별 악취물질 모니터링 결과(n=33)

- 산란농가의 계사내부, 계사배기팬(배출구), 계분퇴비(챔버), 퇴비사에서 악취를 측정하고 DB를 구축하였음
- 악취공정 시험법에 따라 지정악취물질 22종을 분석하였으며, 비지정 악취물질 6종을 추가적으로 분석하였음

측정결과 기술통계 (육계)

구분	지정 악취	측정지점 별 농도*(avg)			최소 감지농도
		부지경계	계사 환기팬	계사내부	

	물질	(n=9)	(n=12)	(n=12)	
복합악취	○	6.89	51.83	52.83	-
NH ₃	○	0.42	2.18	2.77	0.1
Trimethylamine(TM A)	○	1.29	1.71	1.78	0.1
H ₂ S	○	0.15	0.05	0.05	0.5
MM	○	0.01	0.16	0.13	0.1
DMS	○	0.02	0.06	0.06	0.1
DMDS	○	0.01	5.03	5.78	0.3
Acetaldehyde	○	3.51	48.07	29.46	2
Propionaldehyde	○	0.05	5.45	2.17	2
Butylaldehyde	○	0.01	0.05	0.00	0.3
iso-Valeraldehyde	○	0.32	0.06	0.00	0.2
n-Valeraldehyde	○	0.01	0.00	0.00	0.7
Styrene	○	18.26	11.08	5.46	440
Toluenes	○	31.54	22.75	18.80	10
Xylene	○	29.85	16.84	6.23	200
Methyl ethyl keton(MEK)	○	20.10	15.89	15.05	900
Methyl isobutyl keton	○	23.54	17.77	8.75	16
Butyl acetate	○	10.83	0.23	0.00	30
iso-Butyl alcohol	○	23.51	9.06	5.14	380
Propionic acid	○	1.44	1.17	0.98	5.7
n-Butyric acid	○	0.37	0.37	0.25	2
l-Valeric acid	○	0.25	0.15	0.21	1.5
n-Valeric acid	○	0.16	0.18	0.15	0.07
Acetic acid	X	6.06	4.39	3.71	0.05
l-Butyric acid	X	0.12	0.14	0.11	0.1
Phenol	X	0.12	0.09	0.14	0.28
p-Cresol	X	0.03	0.02	0.02	0.054
Indole	X	0.18	0.10	0.22	0.3
Skatole	X	0.01	0.01	0.01	0.0056

* 단위 : NH₃(ppm), 그 외 물질별 농도(ppb), 복합악취(배)

양계(육계/산란계) 농가 측정 지점 별 주요 악취물질 및 악취기여율(%)

순위	계사내부	계사배기팬	퇴비사
1	SK(61%)	SK(48%)	TMA(61%)
2	TMA(9%)	TMA(19%)	IVA(11%)
3	NH3(4%)	NH3(8%)	NH3(7%)

<미생물 군집 분석을 통한 슬러리 조건에 따른 악취물질 발생 기작>

○ 돈사 피트 내 슬러리의 기간에 따른 냄새물질 및 미생물 군집 평가 실험 개요

- 연구 방법 : 슬러리를 기간에 따라 14주간 주 1회 시료(슬러리)를 채취 후 분석
- 대상 성분 : 슬러리 냄새물질 : 휘발성지방산류, 페놀류, 인돌류.
: 대기 중 냄새물질 : 휘발성지방산류, 페놀류, 인돌류 등.
- 시료 채취 : 슬러리 채취는 피트 내 슬러리 높이의 중간지점에서 매주 동일한 곳에서 채취

○ 슬러리 기간에 따른 미생물 분포의 변화

- 돈사 피트 내 슬러리 기간 1~14주 동안 미생물 군집의 변화에 따른 분석(Principle Component Analysis, PCA) 결과를 표 1에 나타냄
- 돈사 피트 내 슬러리 저장기간 14주 동안 내부 최우점 미생물종 (Bacteria 9종 추출)을 Object로, 주요 악취물질을 Variables로 하여 정준상관분석 (Canonical Correspondence Analysis; CCA)을 수행.
- Pseudomonadales, Burkholderiales, Bacteroidales는 인돌 및 VOCs 발생에 많은 연관성이 있으며 이들은 저장 초기 1주-6주 사이에 상관도가 매우 높음. 또한, acetic acid, SCFA, BCFA도 다소 영향을 받음. 황화물 유래 악취물질은 10주-14주 사이에 Desulfococciales, Bacteroidales과의 높은 연관성이 있음.
- 페놀류는 상대적으로 저장기간이 말기에 증가하는 것으로 보였으며, 이는 미생물의 군집 변화에 연관성이 떨어지나 상대적으로 Clostridiales, Bacteroidales의 영향이 있는 것으로 판단됨. Clostridiales는 다른 미생물과 비교하여 저장기간 변화에 따른 우점도의 변화는 크지 않음.

<슬러리 기간에 따른 악취물질 분석 결과>

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
복합악취 (*10 ³)	10.0	14.4	0.3	6.7	14.4	20.8	10.0	4.5	3.0	4.5	10.0	3.1	14.4	20.8	
sulfur	H2S	62.5	297	213	286	145	353	170	334	132	754	1,685	92.2	276	227
	MM	186	124	286	131	105	197	173	119	190	249	165	154	149	149
	DMS	32.4	20.0	20.4	20.0	21.9	20.5	19.4	20.1	19.9	21.6	31.3	30.8	18.6	15.8
	CS2	3.38	3.58	4.19	3.70	3.68	4.24	3.86	3.69	4.11	4.13	7.27	4.26	4.39	4.06
	DMDS	12.0	13.5	18.6	21.8	30.7	17.7	19.9	8.98	75.3	10.3	11.1	12.6	22.3	15.4

VOC	MEK	48.9	59.6	38.0	44.9	39.4	41.6	33.7	42.0	76.9	36.1	37.5	39.0	57.1	67.7
	Benzene	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.82	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
	MIBK	5.04	3.71	0.34	0.34	3.38	3.43	0.34	0.34	2.89	3.94	3.35	2.19	3.11	3.12
	Toluene	153	279	112	175	178	211	7.14	33.4	159	278	96.7	28.9	12.9	216
	n-Butylacetate	5.13	5.65	11.0	5.27	0.71	0.71	4.52	4.27	5.66	5.80	0.00	4.17	0.71	5.26
	iso-Butylalcohol	10.9	4.45	0.37	0.71	8.61	8.12	7.69	6.73	10.4	7.60	10.5	6.58	9.9	11.9
	Ethylbenzene	2.82	2.29	3.14	2.78	2.01	2.80	0.38	0.43	2.68	3.72	1.54	0.43	0.43	2.32
	m-Xylene	2.36	2.47	3.02	2.52	2.27	2.67	1.68	1.65	2.63	2.91	2.25	1.67	2.51	2.49
	p-Xylene	3.04	3.32	5.46	3.47	2.79	3.70	1.48	1.42	3.58	4.42	2.63	1.42	3.47	3.28
o-Xylene	22.1	24.0	42.0	22.3	14.5	24.2	13.9	13.6	22.7	27.7	20.7	13.7	21.9	24.3	
Styrene	4.59	4.87	4.35	4.25	4.65	4.61	3.69	3.53	4.35	3.46	5.27	3.52	4.61	5.02	
SCFA	Acetic acid (*10 ³)	1.5	1.6	1.2	1.4	1.1	0.9	1.0	0.9	1.6	1.2	0.9	1.0	1.1	1.1
	Propionic acid	671	552	433	515	431	271	324	189	328	247	210	190	163	198
	n-Butyric acid	376	39.4	328	374	320	215	256	139	304	151	157	105	167	149
	n-Valeric acid	106	105	76.8	83.4	66.1	33.0	49.5	13.4	69.8	15.5	21.4	10.2	14.9	15.1
BCFA	iso-Butyric acid	48.3	54.3	44.0	50.0	46.6	34.4	39.2	24.0	39.9	28.8	26.7	25.2	19.6	24.4
	iso-Valeric acid	35.8	41.0	34.2	37.8	35.3	28.0	34.4	22.8	34.9	25.6	25.6	25.4	19.3	23.7
Phenols	Phenol	1.84	7.55	1.61	2.82	2.80	2.05	3.09	1.83	3.53	4.15	7.35	3.34	1.85	6.77
	p-Cresol	21.7	26.5	26.2	30.1	33.9	31.6	44.6	35.1	41.9	46.3	42.6	46.5	31.4	45.6
Indoles	Indole	0.40	0.40	0.47	0.40	0.43	0.53	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.46	0.40	0.52
	Skatole	1.11	1.20	0.49	0.59	0.57	0.74	0.73	0.38	0.41	0.81	1.05	0.32	0.38	0.89

<축산악취와 돼지 생산성 및 병변 특성 조사 분석>

- 양돈농가(육성/비육)의 악취와 생산성 관계 규명 1차 시험 - 1단계 평가보고서 수록
- 양돈농가(육성/비육)의 악취와 생산성 관계 규명 2차 시험 결과
 - 목적 : 돼지 각 사육단계에서 악취수준에 따른 생산성 및 생리변화 분석

<실험방법>

1. 사양관리

- *실험 대상 및 기간: 거세돈 80두, 2022년 9월 26일 ~ 12월 19일
- *실험 방법: 일반 돈방(대조구 4.7~12 ppm), 고농도 암모니아 돈방(시험구 29~33 ppm) 2처리, 4반복, 체중에 따른 Randomized Complete Block Design,
- *농도 구배: 초순수 암모니아수(Ammonium hydroxide, 25~28%)를 물과 희석하여 IV drip (링거)를 활용해 주기적으로 고농도 암모니아 발생시킴. 지속적인 농도 모니터링을 통한 고농도 유지
- *급이 사료: 다음 표와 같음

성분명	조지방	칼슘	인	조섬유	조회분	라이신	DE
%	5% 이상	0.6% 이상	0.6% 이하	4.0% 이하	6.0% 이하	1.0% 이상	3.6 Mcal/kg

2. 측정

- *분석항목 : 악취 노출 수준에 따른 사료 급이량, 체중, 혈액성분(전혈, 혈청)
- *통계 분석: ANNOVA 통계기법을 사용하여 구조방정식 모델을 활용하여 통계분석 실시

<실험결과>

- 전체 기간 분석결과, 육성기와 비육기의 악취노출수준(암모니아)에 따른 성장 성적의 통계적인 유의차이가 없는 것으로 나타남.
- 결과에 대한 전문가 자문을 통해 실험 방법 및 결과 도출에 대한 보완 사항 의견수렴 후 3차 실험 진행
 - 대조구와 시험구의 악취물질 농도 구배의 차이가 적음
 - 돼지의 개체 차이로 인한 각 개체별 무게 및 혈액/분 데이터의 추적관찰이 필요함
 - 생산성뿐만 아니라 돼지 사체 검안 및 내부 장기 조직검사를 통한 병변 확인이 필요함

<생산성 관계 규명 2차 시험 결과>

구분	실험 구분		SEM	P-value
	대조구	처리구		
개시 체중 (kg)	27.3±3.7	27.2±3.7	2.0	0.066
종료 체중 (kg)	112.3±10.2	112.5±9.4	3.7	0.878
일당증체량(g/d)	1,011.5±47.5	1,015.8±28.9	0.0	0.586
일당사료섭취량(kg/d)	3.05±0.21	3.08±0.08	0.09	0.715
사료요구율 (사료섭취량(kg/d)/일당증체량(kg/d))	3.01±0.07	3.04±0.08	0.04	0.592
폐사 마리수	0	0	-	-

○ 양돈농가(자돈~출하)의 악취와 생산성 관계 규명 3차 시험

<실험방법>

1. 사양관리

- *실험 대상 및 기간: 거세돈 80두 (대조구 40두, 처리구 40두), 평균 13±1.7 kg 2023년 3월 29일 ~ 7월 14일 (이유자돈~출하) (총 76일 사육)
- *실험 방법: 대조구 암모니아 농도: 배기팬 8 ppm, 시험구: 배기팬 50 ppm, 4반복 체중에 따른 Randomized Complete Block Design
- *농도 구배: 초순수 암모니아수(Ammonium hydroxide, 25~28%)를 물과 희석하여 IV drip (링거)를 활용해 주기적으로 고농도 암모니아 발생시킴. 지속적인 농도 모니터링을 통한 고농도 유지
- *급이 사료: 다음 표와 같음

성분명	조지방	칼슘	인	조섬유	조회분	라이신	DE
%	5% 이상	0.6% 이상	0.6% 이하	4.0% 이하	6.0% 이하	1.0% 이상	3.6 Mcal/kg

2. 측정

- *분석항목 : 생산성지표(일당증체량, 사료효율 등), 혈액 분석, 사체검안 및 조직검사 등
- *통계 분석; 충북대학교 연구팀에서 악취와 생산성 관계 규명 관련 분석 실시



< 돈사내 암모니아 샘플 측정 >



< 돈사내 고농도 암모니아 주입 >

<실험결과>

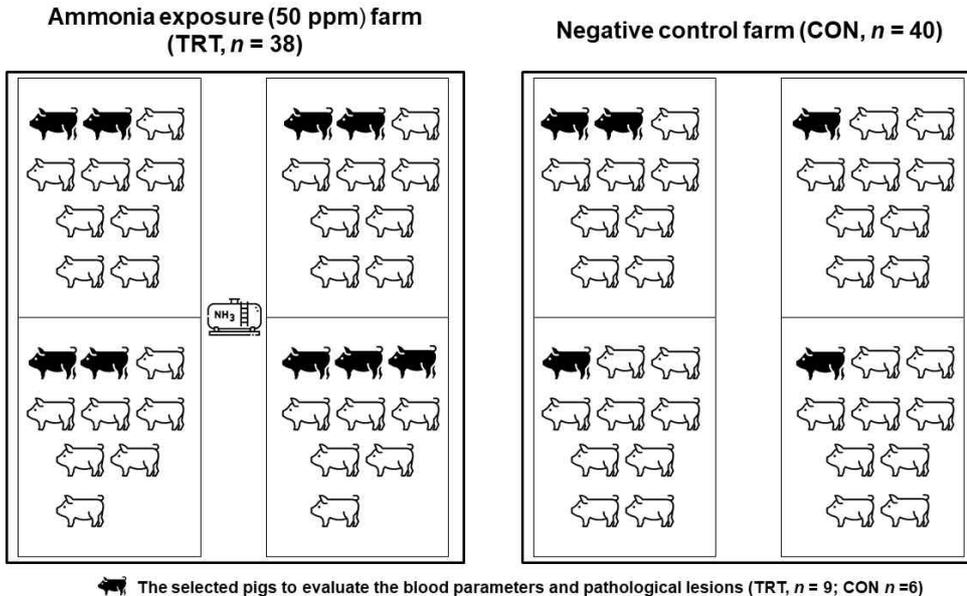
- 실험 도중 시험구에서 2마리의 폐사가 진행됨 (방역과 협조: 검안서 제 2023-4, 5호)
- * 폐사원인 : 간질성 폐렴, 병광파열로 인한 폐혈증, * 주요소견: 폐부종, 폐충출혈 등 폐 관련 병변 다수 발견
- 고농도 암모니아 노출시 돼지의 생리학적 측면의 데이터 확보 필요 : 주요 장기 조직검사 필요
- ※ 암모니아와 돼지 생산성 영향평가를 위한 돼지 사체검안 및 조직검사 관련 학술 용역계약 추진(전북대 오상익 교수)

<생산성 관계 규명 3차 시험 결과>

구분	실험 구분	
	대조구	처리구
개시 체중 (kg)	13.1±1.7	13.0±1.7
종료 체중 (kg)	103.3±11.2	104.0±8.7
평균 증체량	90.2±10.5	91.0±8.0
일당증체량(g/d)	842.9±98.4	850.8±75.2
일당사료섭취량(kg/d)	2.06±0.13	2.04±0.06
사료요구율 (사료섭취량(kg/d)/일당증체량(kg/d))	2.48±0.30	2.42±0.21
폐사 마리수 n(%)	0(0%)	2(5%)

○ (학술용역) 축산악취와돼지 생산성 및 병변특성 조사 분석 연구 (전북대)

<실험 방법>

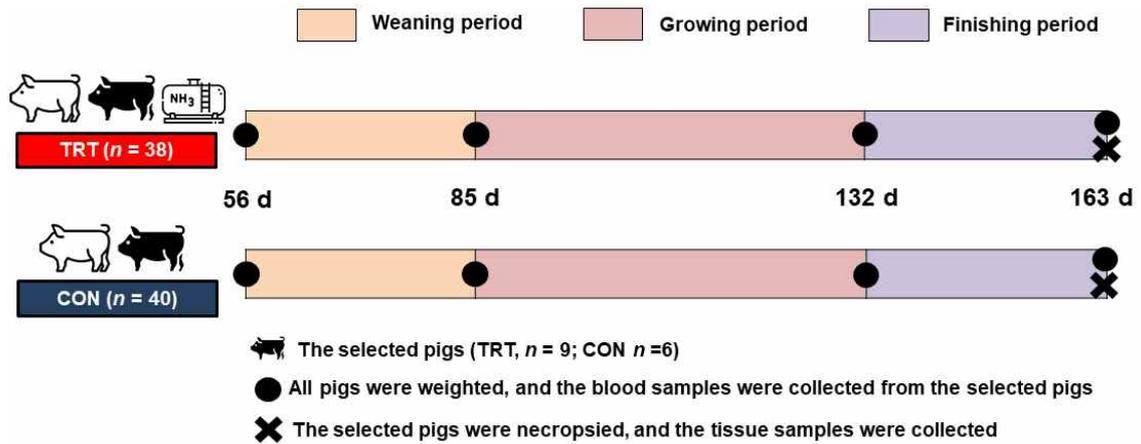


< 실험을 위한 돼지 사육 모식도 >

- 비육종료(163일령) 직후 TRT그룹 9두 및 CON그룹 6두 대상 부검 및 장기별 육안·조직병리학적 병변 특성 분석
- 병원체 감염이 없는 것을 확인하기 위해, 장기(폐) 조직 DNA 내 돼지 주요 돼지 호흡기질병 유발 병원체 보유 여부 확인
 - *Mycoplasma spp., PCV2, PRRSV, SIV 확인
- 암모니아 미노출군 5두 부검 후, 노출군 9두 대상 부검 실시
 - *수의병리학 전공자(3인) 부검 실시 및 전체적인 육안 장기 병변 관찰
 - 폐를 포함한 주요 장기 병변 관찰 시 사진 촬영
 - *모든 돼지의 기관, 폐, 심장, 간, 공장, 신장 조직 샘플링 실시
 - (조직병리) 포르말린 조직 고정
 - (조직보관) 액체질소 급냉 후, 냉동(-72° C) 보관
 - (폐 조직) 병원체 보유 여부를 확인을 위해 실험실로 이동 후 검사 실시
- 병리조직 슬라이드 제작 및 조직병리 병변 분석
 - * 모든 포르말린 고정 조직 대상 조직 슬라이드 제작 및 병변 확인
 - (기관) 기관 병리조직 대상 Reid-Index¹⁾ 측정
 - (폐) 폐 세포 손상, 염증세포 침윤 정도 등을 측정하여 점수화
 - (심장, 간, 신장, 장) 각 장기의 특징적인 병변 및 염증세포 침윤 여부를 확인
- 암모니아 노출/미노출 돼지 혈액수치 및 생산성 분석
 - *입식 직후(56일령) 및 자돈종료시기(85일령), 육성종료시기(132일령), 비육종료시기(163일령)의 모든 실험 돼지 대상의 체중 측정 및 사료효율 계산
 - 수령받은 Raw data(축산원 기수행)의 종합적인 분석 실시(혈액학적 수치 및 육안·조직 병변을 고려한 생산성 분석)
- 암모니아 노출 그룹 9두 및 미노출 그룹 6두 대상 각 시기별 채혈 및 혈구 / 혈청생화학 수치 분석 시행
 - *수령받은 Raw data(축산원 기수행)의 종합적인 분석 및 의미 도출
 - (혈구수치) RBC, HCT, HGB, WBC, NEU, LYM, MONO, EOS, BASO, PLT 등

1) Reid-Index : 만성 기관(지)염 측정 지표로 기관 및 기관지의 Gland 증식 정도를 측정

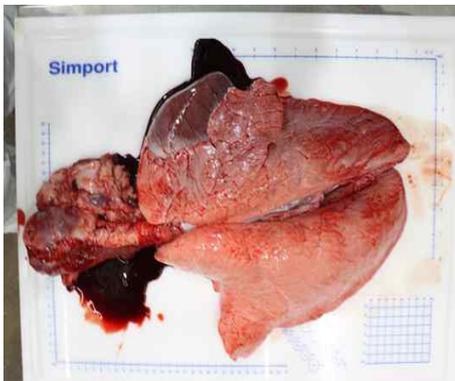
· (혈청생화학수치) GLU, CREA, BUN, PHOS, CA, TP



< 실험 돼지 분석 방법 모식도 >

< 실험 결과 >

1. 암모니아 노출 환경의 돈사에서 사육한 돼지의 육안 병변
 - (CON 그룹) 암모니아 미노출(<5 ppm) 환경의 돈사 사육 돼지에서는 특이적인 육안 소견이 관찰되지 않음



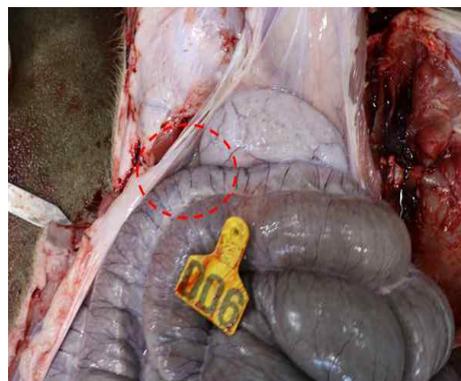
< 폐. 특이적인 육안소견 없음 >



< 간. 특이적인 육안소견 없음 >

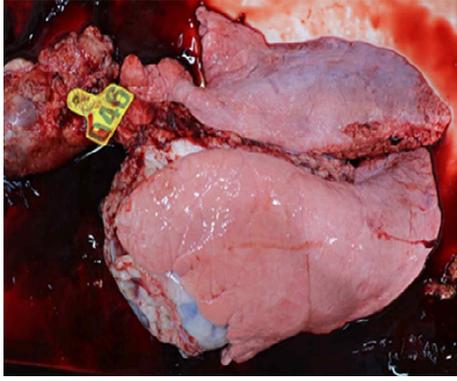


< 신장. 특이적인 육안소견 없음 >

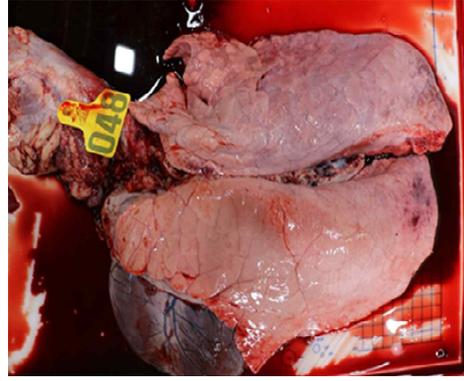


< 복강. 복수 관찰 >

- (TRT 그룹) 암모니아 장기간 노출(50 ppm) 환경의 돈사 사육 돼지에서 다양한 육안 병변이 관찰
 - * 호흡기계(폐)에서 간질성 폐렴, 섬유소성 폐렴, 출혈소 등의 다양한 병변이 5두에서 관찰



< 폐. 간질성 폐렴 >



< 폐. 간질성 폐렴 및 반상 출혈 >

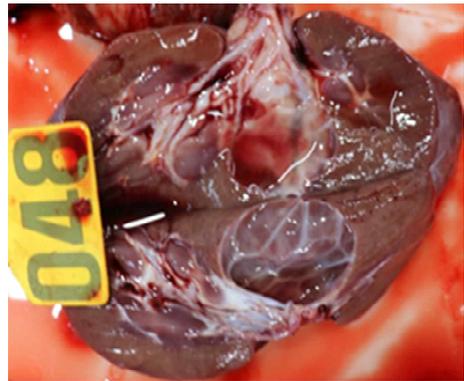


< 폐. 섬유소성 폐렴 >

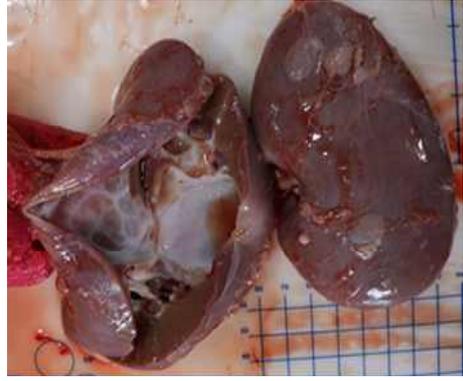


< 폐. 다병소성 염증 >

- 비뇨기계(신장)에서 수신증이 있는 개체가 2두 발견

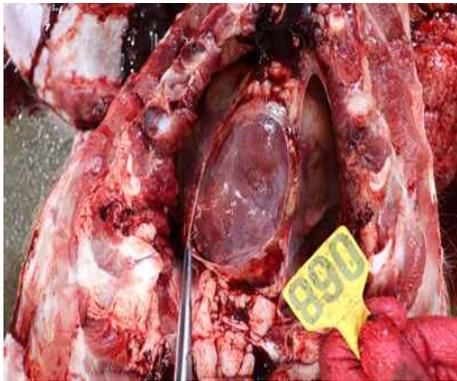


< 신장. 수신증 >

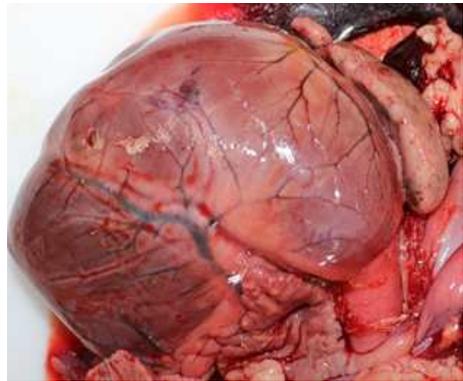


< 신장. 수신증 >

- 이 밖에 순환기계(심장)에서 섬유소성 심내막염을 보이는 개체가 있었으며, 복수가 관찰된 개체도 존재



< 심장. 섬유소성 심내막염 >



< 심장. 출혈 소견 >



< 복강. 복수 관찰 >

<부검 돼지의 그룹간 육안 소견 정리>

그룹	명호	폐	심장	신장	장
TRT	46	폐렴			
	48	폐렴 및 출혈소		수신증	
	54				
	58	폐렴 및 출혈소			
	66	폐렴			
	68		심내막염		
	74	NT	NT	NT	NT
	76	폐렴		수신증	
	78				
CON	4				복수
	6				
	8				
	18				
	28				
	38				

* NT, not tested(육안병변 관찰하지 못함)

2. 암모니아 노출 환경의 돈사에서 사육한 조직병리학적 특성

- (병원체 검사) 돼지 주요 호흡기 질병 유발 병원체 감염 없음 확인

*모든 실험 돼지에서 Mycoplasma spp., PCV2, PRRSV, SIV 음성 확인

Mycoplasma 항원 검사 결과서
 접수일자: 2023년 07월 17일 월요일 | 의뢰장부: 수의과대학 (오상익 님)
 시료대역: 돼 15검 | 농양장부: 축산과학원 ()
 접수번호: 23-0500

소견서
 의뢰하신 가검물, 즉 15검의 Mycoplasma PCR을 실시한 결과 모두 음성으로 나타났습니다.

SIV 항원 검사 결과서
 접수일자: 2023년 07월 17일 월요일 | 의뢰장부: 수의과대학 (오상익 님)
 시료대역: 돼 15검 | 농양장부: 축산과학원 ()
 접수번호: 23-0500

소견서
 의뢰하신 가검물, 즉 15검의 SIV-NT-PCR을 실시한 결과 모두 음성으로 나타났습니다.

전북대학교 동물질병진단센터
 JEONBUK NATIONAL UNIVERSITY VETERINARY DIAGNOSTIC CENTER
 5456 전북 익산시 고부로 79(마곡) 전북대학교 수의과대학 제2수의학관 305호
 Tel : 063-850-0979 / Fax : 063-850-0980 / Homepage : www.vetdiab.com

최종 결과 보고서
 접수번호: 23-0500

검사일자: 2023년 07월 17일 월요일 | 의뢰장부: 수의과대학 (오상익 님)
 시료대역: 돼 15검 | 농양장부: 축산과학원 ()
 결과송부일자: | 수수료: 1,732,500원
 접수번호: 23-0500

소견서
 △ 의뢰하신 가검물에 대한 검사결과입니다.
 1. 항원 검사 결과, 즉 15검에서 PRRS 음성, PCV2 음성으로 나타났습니다.

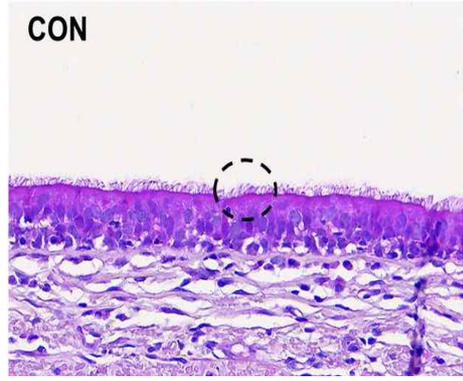
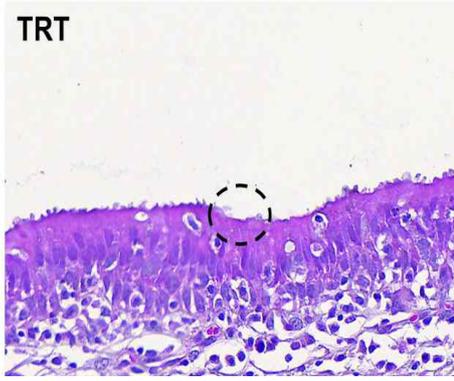
전북대학교 동물질병진단센터 센터장 엄재구

< 부검 돼지 15두 폐 조직 대상 주요 돼지 호흡기질병 음성 확인 >

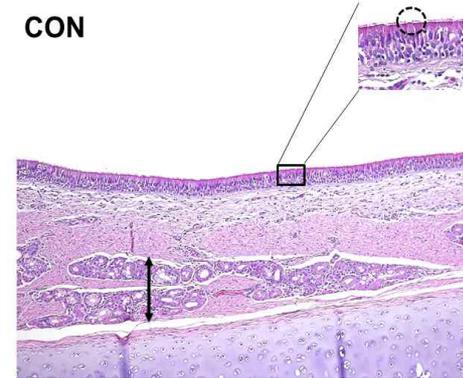
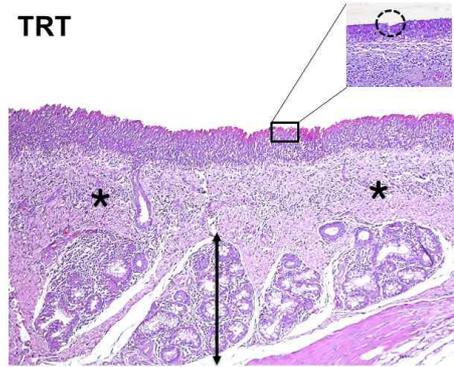
- (병리조직) 각 장기별 병리조직검사를 통한 병변 분석

* (기관) TRT 그룹 돼지 전반에 걸쳐 상피세포의 섬모(cilia) 탈락, 샘(Gland) 증생, 염증세포 침윤 관찰
 · (Reid-Index) TRT (0.44 ± 0.13), CON 그룹 (0.24 ± 0.04)

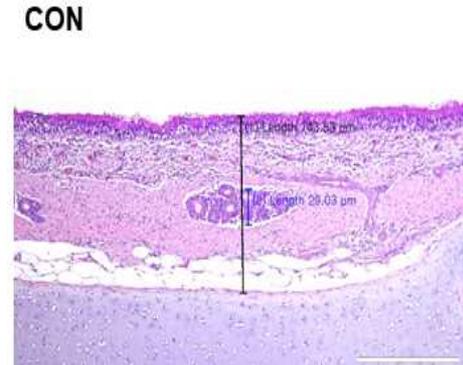
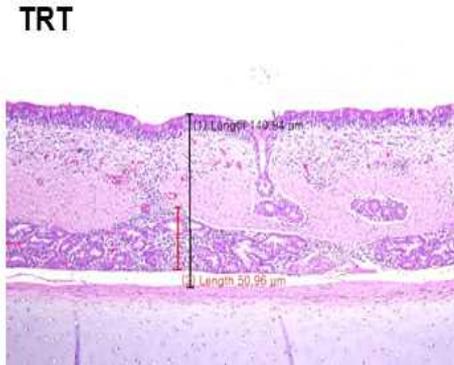
☞ TRT 그룹이 유의적으로 높으며, 이 중 8두에서 만성기관염 확인(Reid-Index > 0.3)



< 기관. TRT 그룹의 섬모 탈락(점선 원) >

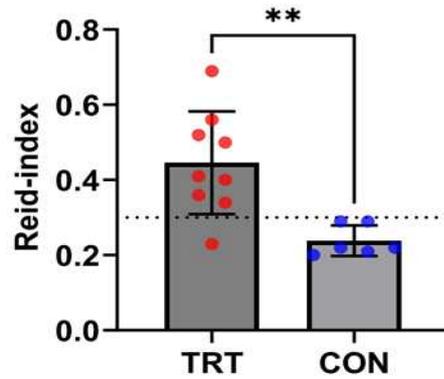


< 기관. TRT 그룹의 염증세포 침윤(*) 및 Gland hyperplasia(양쪽화살표) >



< 기관 조직 Reid-Index 측정 과정 >

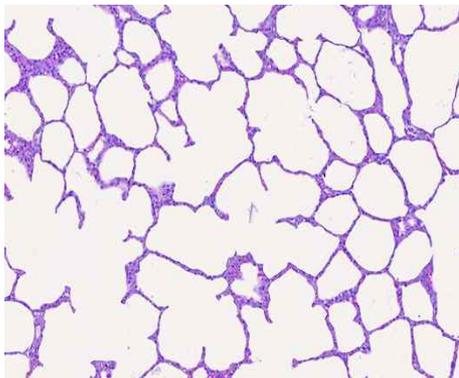
그룹	명호	Reid-Index	Average ± S.D
TRT	46	0.52	0.44 ± 0.13
	48	0.50	
	54	0.34	
	58	0.40	
	66	0.36	
	68	0.41	
	74	0.56	
	76	0.69	
	78	0.23	
CON	4	0.21	0.24 ± 0.04
	6	0.29	
	8	0.22	
	18	0.22	
	28	0.29	
	38	0.20	



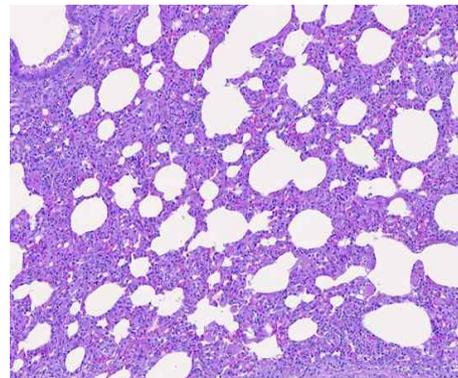
< 기관 조직 Reid-Index 측정 결과 >

* (폐) 간질성 폐렴, 세기관지염, 충·출혈 및 미약~심한 염증세포 침윤 등 다양한 병변을 TRT 그룹 돼지에서 관찰할 수 있음

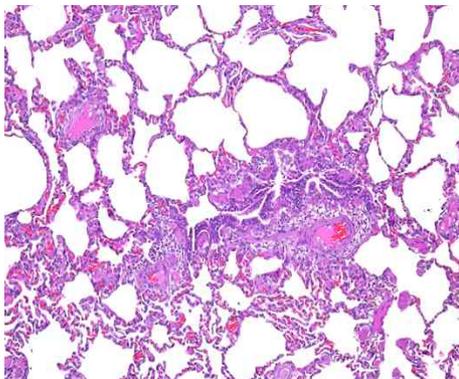
* (점수화) TRT (4.56 ± 2.59) > CON 그룹 (1.67 ± 1.89), p = 0.047



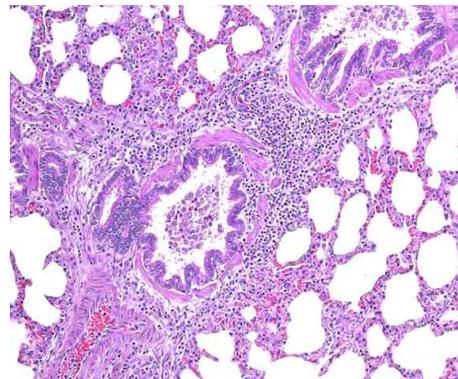
< 폐. CON그룹. 특이소견 없음 >



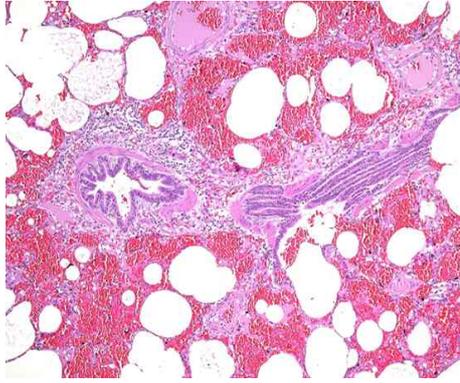
< 폐. CON그룹. 간질성 폐렴 >



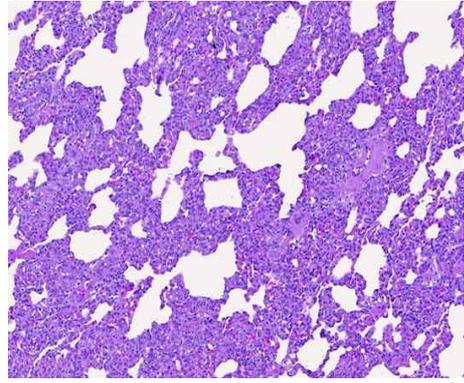
< 폐. TRT그룹. 혈관주위 염증세포 침윤 및 미약한 출혈 >



< 폐. TRT그룹. 세기관지염 및 염증세포 침윤 >



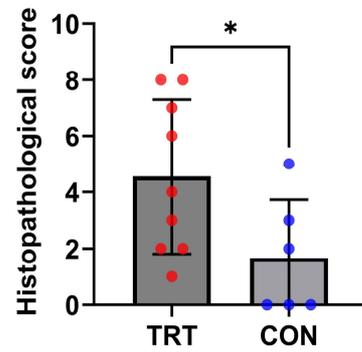
< 폐. TRT그룹. 충혈 및 세기관지 주변 염증/섬유화 >



< 폐. TRT그룹. 심한 간질성 폐렴 >

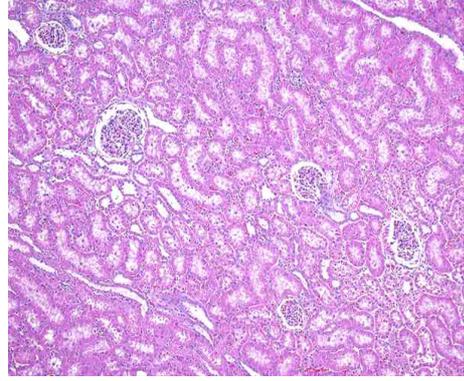
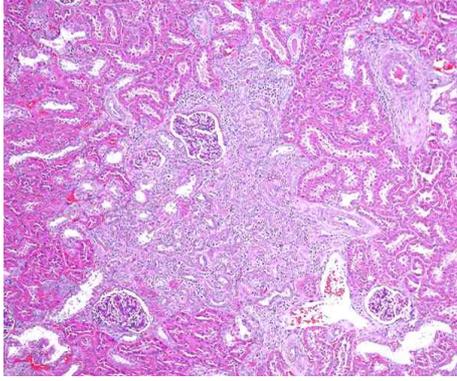
표. 개체별 폐 조직 병변(염증세포 침윤, 충·출혈, 섬유화 등) 점수

그룹	명 호	내 강	기관 지	세기관 지	혈 관	간질성 폐렴	Average ± S.D
TRT	46	1	2	3	0	1	4.56 ± 2.59
	48	0	2	2	1	2	
	54	0	1	1	1	0	
	58	1	2	2	0	1	
	66	0	1	1	1	0	
	68	0	0	0	1	0	
	74	1	1	1	2	3	
	76	1	1	1	0	1	
	78	0	1	1	0	0	
CON	4	0	0	0	0	0	1.67 ± 1.89
	6	0	0	0	0	0	
	8	1	0	1	0	0	
	18	0	0	1	1	1	
	28	0	0	0	0	0	
	38	0	2	1	1	1	

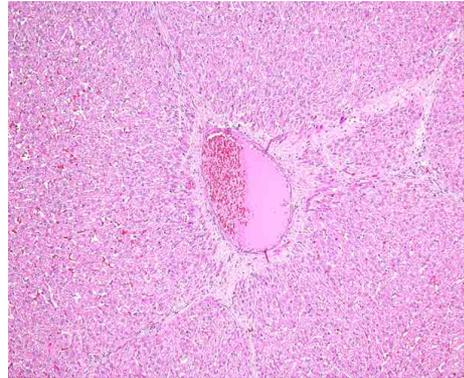
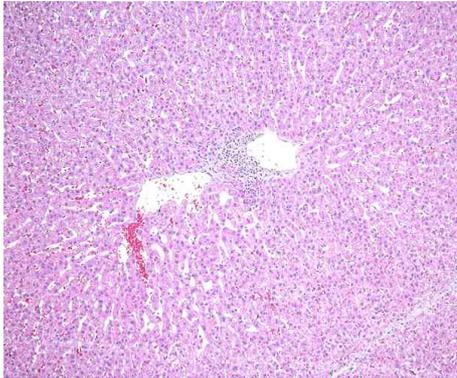


< 폐. 병리조직 병변 점수 분포 >

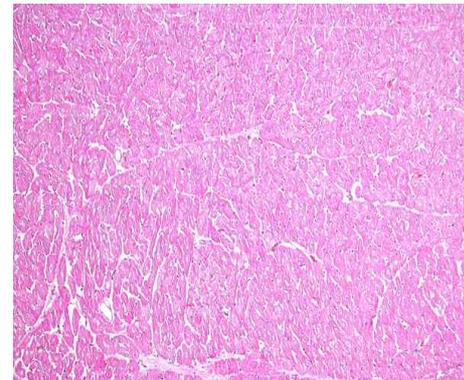
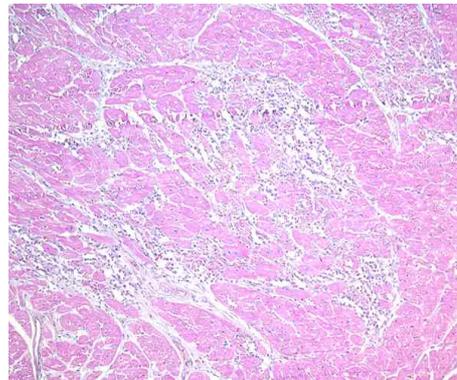
*(신장, 간, 심장) 일반적인 TRT 그룹과 CON 그룹의 차이를 보이지는 않으나, 대체적으로 TRT 그룹에서 조직 병변이 다수 관찰



< 신장. 간질성 신장염이 있는 TRT그룹(좌)과 정상 CON(우) >



< 간. 염증세포 침윤이 있는 TRT그룹(좌)과 정상 CON(우) >



< 심장. 심근염이 있는 TRT그룹(좌) 정상 CON(우) >

*(장) TRT 그룹과 CON 그룹 모두에서 장 조직 병변이 관찰됨

3. 암모니아 노출 여부에 따른 혈액수치 분석

- (분석 혈액) 부검 수행 돼지 중 TRT 6두 및 CON 5두 대상 분석

*각 사육구간 종료 시점 대상 혈구 분석 진행

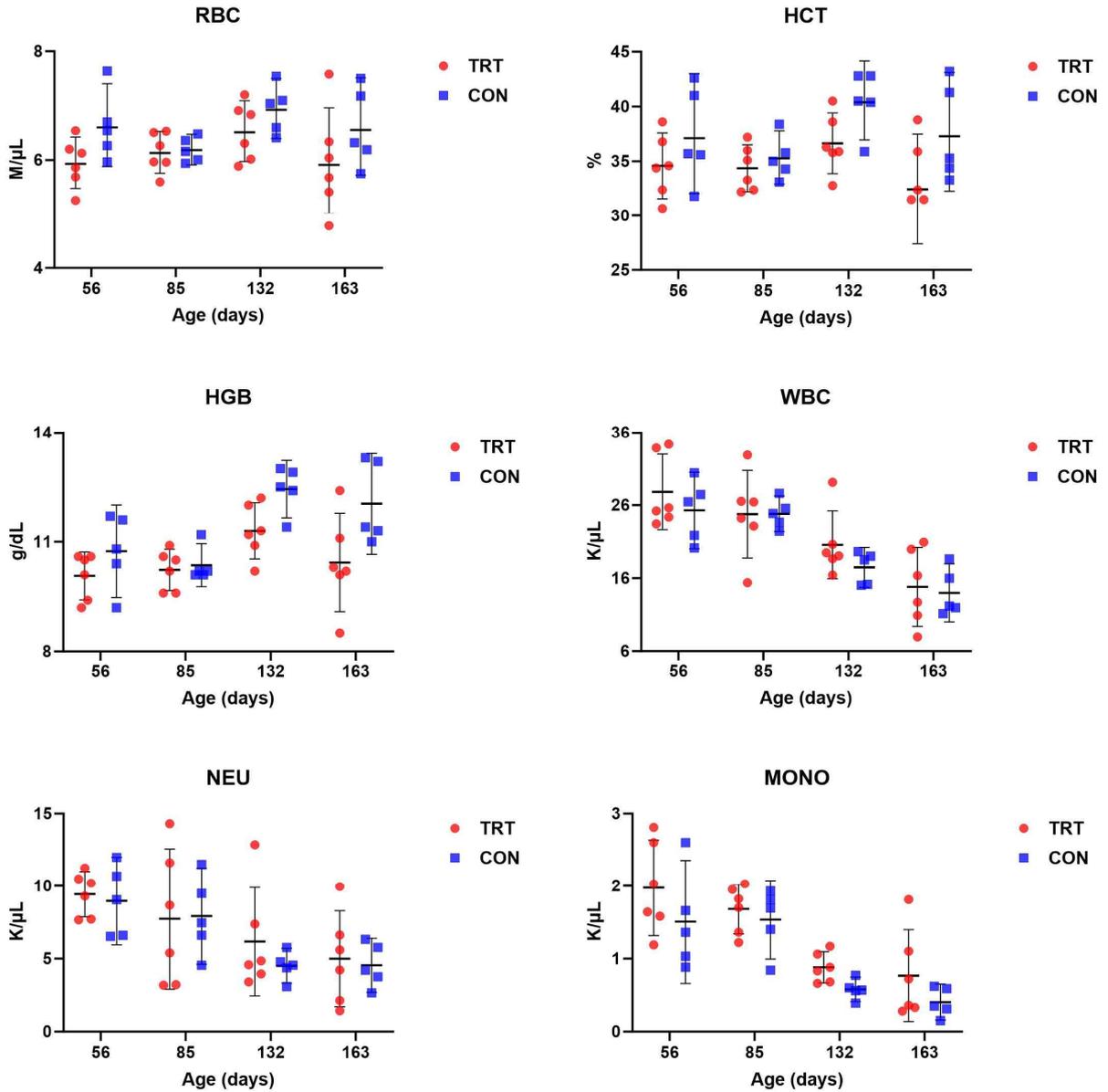
· 한 시점에서라도 혈액이 굳은 경우에는 분석에서 제외(TRT 3두, CON 1두 제외)

- (혈구 분석) TRT 및 CON 그룹 간의 유의미한 차이 없음

*TRT에서 평균적으로 육성-비육구간의 RBC, HCT, HGB 수치가 낮은 것을 확인

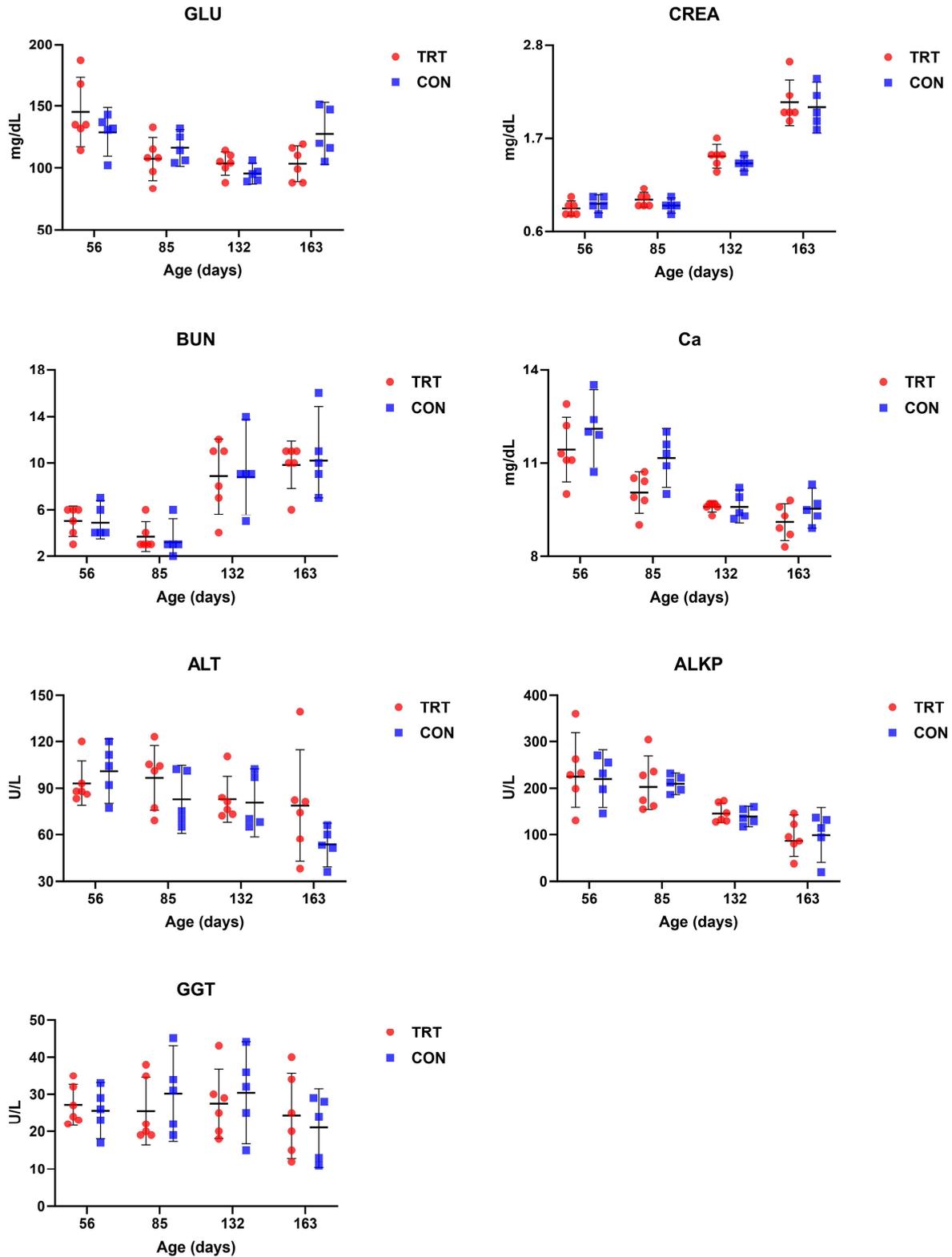
*TRT에서 Monocyte가 CON에 비해 육성-비육구간에서 높은 것을 확인

· 만성 염증으로 인한 Macrophage-Monocyte 증가로 추정됨



< 암모니아 장기간 노출군(TRT) 및 미노출군(CON)의 혈액 혈구 분석 결과 >

- (혈청생화학 수치 분석) TRT 및 CON 그룹 간의 유의미한 차이 없음
- *TRT에서 평균적으로 비육종로 시점의 GLU 수치가 높음
- *TRT에서 간수치(ALT)의 개체차이가 크지만, 평균적으로 비육종로 시점에 높음



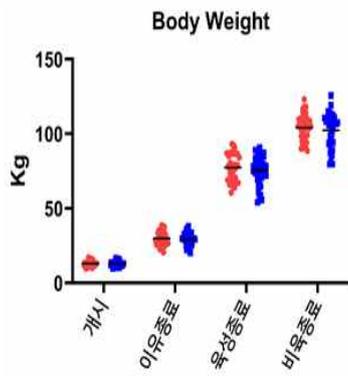
< 암모니아 장기간 노출군(TRT) 및 미노출군(CON)의 혈액 혈구 분석 결과 >

4. 암모니아 노출 여부에 따른 돼지 생산성 차이 분석

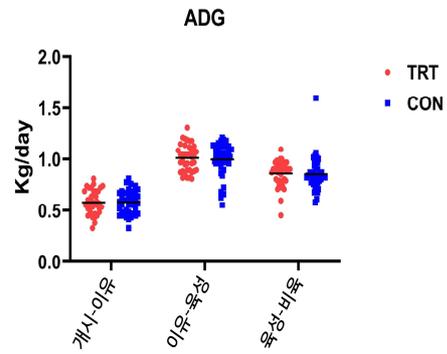
- (돈군 단위) 전체 실험 돼지(TRT 38두, CON 40두) 대상 체중(Body Weight), 일당증체량 (ADG), 사료효율(FE)을 분석한 결과, 유의적인 차이 없음

* ADG : 하루에 증가하는 돼지 체중량(Kg/day)

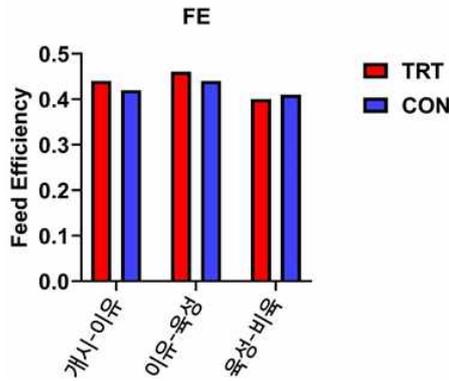
* FE : 사료 1kg을 섭취하였을 때 증가하는 돼지의 체중(kg)



< 체중 변화 >



< 일당증체량 변화 >

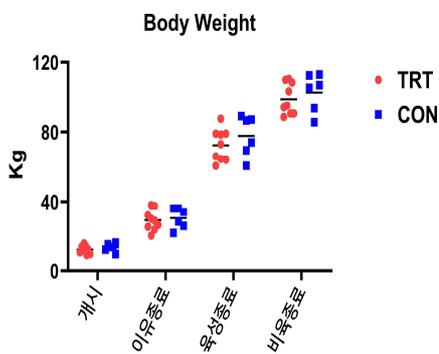


< 사료 효율 계산 >

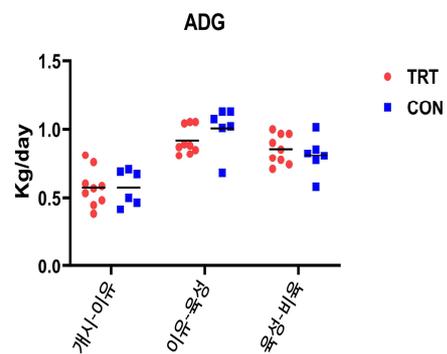
— (부검 돼지 분석) 부검을 수행 한 선택된 실험 돼지(TRT 9두, CON 6두) 대상 체중 및 일당증체량을 분석한 결과, 이유-육성 기간의 TRT 그룹의 평균 일당증체량(0.92 ± 0.10)이 CON 그룹(1.00 ± 0.15 kg/day)에 비해 낮음

*부검한 돼지만 선택적으로 분석을 수행하였기 때문에, 돈군 단위로 측정된 사료효율에 대한 분석은 미 실시

· CON 그룹의 6번 개체에서 유난히 낮은 이유-육성구간 일당증체량을 나타내는 것으로 확인됨(부검 시 복수가 관찰되었던 개체)



< 체중 변화 >



< 일당증체량 변화 >

<종합 결론>

- ◆ (병변) 암모니아 장기간 노출 환경에서 사육된 돼지(TRT)에서는 호흡기계 장기 병변 뚜렷
 - (기관) 부검 개체의 88.9%에서 만성 기관염 소견이 관찰됨
 - (폐) 암모니아 미노출 돼지에 비해 다양한 폐의 육안 병변(폐렴, 출혈소 등) 및 조직학적 폐렴 소견(간질성 폐렴, 기관지/세기관지염 등)이 관찰됨
 - 암모니아 노출 돼지(TRT)에서는 다양한 실질장기(간, 신장, 심장, 장) 병변이 관찰
- ◆ (혈액) 암모니아 노출 여부에 따른 혈액학적으로 유의적인 차이는 발견되지 않음
 - (혈구) 암모니아 노출로 인한 만성 염증으로 비육종료 시기 평균 Monocyte 수치의 증가가 관찰
 - (혈청생화학수치) 암모니아 노출 돼지(TRT)의 비육종료 시점 Glucose가 평균적으로 낮은 것으로 확인됨
 - *암모니아 노출이 돼지에서 TCA cycle 저해와 폐에서의 glycolysis를 유도한다는 연구결과가 보고된 바 있음(Qinet 등, 2022)
- ◆ (생산성) 전체 돈군(TRT 38두 및 CON 40두)에서는 암모니아 노출에 의한 생산성의 유의미한 차이는 발견되지 않음
 - *부검을 수행한 개체(TRT 9두 및 CON 6두)만 확인하였을 경우에는 이유-육성구간의 평균 일당증체량이 TRT 그룹에서 낮은 것으로 확인됨
 - 실험을 수행한 돼지마다 개체 차이가 크게 발견되었으며, 이로 인해 통계적 유의성은 발견되지 않음

※ 최종결론

- 암모니아와 생산성 실험 결과, 일당증체량과 사료효율의 지표상 큰 차이를 보이지 않았으나 고농도 암모니아 돈방인 시험구에서 2마리의 폐사(전체의 5%)가 발생하였음. 또한, 학술용역을 통한 돼지 병변 조사 결과, 암모니아로 인한 뚜렷한 병변이 발생하였음. 현재 실험 돈사의 경우, 쾌적한 환경이기에 병원균과 2차 감염에 대한 위험도가 낮은 편이지만, 실제 농가들의 경우, 실험 돈사와는 다르기에 암모니아로 인한 피해는 더욱 클 것으로 사료됨

5) 공동연구기관: 군산대학교 산학협력단

7. 돈분장 돈분 상부 미생물거품 도포 적용 및 암모니아 모니터링

7.1. 시험방법

7.1.1 실험실 내 돈분+미생물+계면활성제용액 혼합 시험 방법

그림 7.2에 나타난 바와 같이, 돼지 분뇨 퇴비화 실험이 수행됨. 500mL 시험 상자를 취하고, 상자의 바닥 면에 사각형 구멍을 만듦(그림 7.2a 참조). 이 상자에는 120g의 돼지 분뇨(공극률 70%; 유기물 함량 95%)를 넣고 손가락을 사용하여 손으로 압축함. 이 분뇨 상자들은 수분함량(WC), 토양 전기 전도도(EC), 분뇨 온도(T)와 같은 분뇨의 물리화학적 성질을 측정하는 센서에 연결됨.

총 5개의 시험 상자가 설정되었으며 시간에 따른 분뇨 모니터링이 수행됨. 이 실험에서 하나의 시험 상자는 대조 실험을 위해 사용되었으며, 여기서는 시약 혼합 대신 공기가 공급됨(대조; 호기성 퇴비화). 대조 실험을 위해, 작은 공기 끝(Pasteur 피펫, 독일)이 구멍을 통해 삽입되었고, 이는 매일 30분 동안 200 cc/분의 공기량이 공급됨. 호기성 퇴비화에 의한 분뇨 처리는 전 세계적으로 흔한 현상임.

다른 시험 상자들에는 TP1(분뇨 퇴비화 박테리아)만, TP5만(NH3 분해 박테리아), TP1+TP5, 그리고 TP1+TP5+계면활성제 용액이 각각 부어짐. 사용된 계면활성제는 음이온 계면활성제 AOS(소듐 알파 올레핀 술포네이트)였음. 용액을 시험 상자에 부은 후, 분뇨와 용액이 숟가락을 사용하여 철저히 혼합됨. 이 혼합 과정은 분뇨 현장에 바이오폼을 분사하는 현장 적용을 모의한 것임.

○ 5개 500L 병에 돈분을 담고 control, TP1미생물 (부숙촉진미생물), TP5 미생물 (암모니아 생분해균), TP1+TP5, TP1+TP5+계면활성제용액을 각 각 병에 살포하여 혼합후 암모니아 발생을 모니터링 하였다.

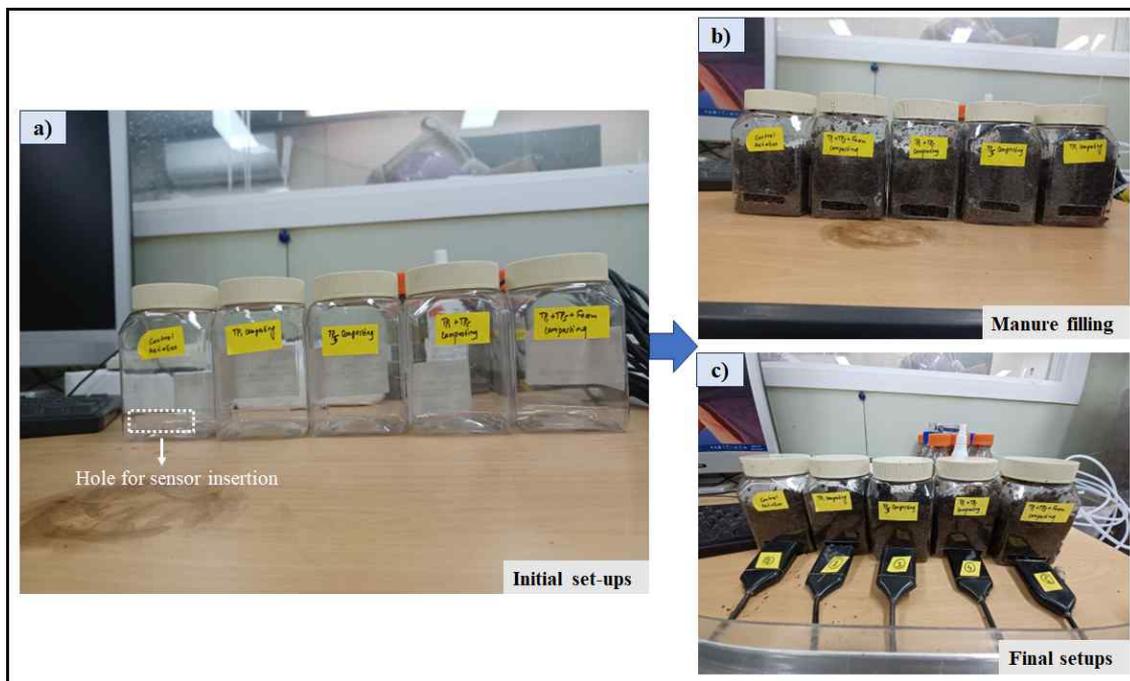


그림 7.2. 돼지 분뇨 퇴비화/숙성 실험을 위한 실험실 규모 설정; a) 실험을 위한 초기 설정, b) 텍스트 박스에 돼지 분뇨 채우기, c) 온도, 수분, 전기 전도도 설정을 사용한 최종 설정.

7.1.2. 미생물 거품도포 현장 시험방법

현장에서는 실험실 기반의 실험이 현장 규모로 확장됨. 계면활성제 폼이 현장 규모로 분사됨.

그림 3a.에 나타난 바와 같이, 계면활성제 폼은 스탠드 하단의 호스 파이프로 공급된 스프링클러를 사용하여 분사됨(주 1회 40분 동안 폼 분사). 스프링클러는 분뇨 위에 비슷한 거리로 배치됨(그림 3b). 그러나 폼을 분사하는 데 사용된 스프링클러의 수는 저장된 분뇨의 부피에 따라 달라짐. 분뇨 현장에서는 저장된 분뇨가 반복적으로 교란되고 들어오는 신선한 분뇨와 조정됨. 교란 빈도는 균일하지 않았으며, 소유자의 의지에 따라 수행됨. 이 연구에서는 들어오는 부피에 대한 분뇨 부피의 변화가 분뇨의 사진 촬영을 통해 평가됨. 동시에, 분뇨 표면과 배경의 NH₃ 방출 변화와 분뇨 부피와의 관계가 측정됨. NH₃ 농도는 Gastec 펌프(Gastec, 가나가와, 일본)를 사용하여 측정됨. Gastec 펌프는 Gastec 튜브를 사용하여 돼지 분뇨에서 방출되는 NH₃ 농도를 결정함.

○ 전북 완주군 소재 돼지농장 돈분장에서 현장 시험. 매일 새로운 돈분 유입. 1주일에 한번 40분간 거품도포 실시. 지속적 사진 촬영후 돈분 부피 예측. 돈분 상부 발생 암모니아와 돈분장 입구에서 암모니아 농도를 검지관법에 의해 측정



그림 7.3. a) 퇴비장에서서의 돼지 분뇨 전체 모습과 들어오는 분뇨 저장 위치 표시, b) 테스트 분뇨에 대한 스프링클러 조정의 근접 모습, c) 스프링클러를 사용한 분뇨 표면 위의 폼 분사.

7.1.3. 계면활성제 생분해 시험

환경 정화 과정에서 가장 중요한 측면 중 하나는 부차적으로 적용된 재료와 관련된 최소한의 영향임. 이러한 측면에서 계면활성제의 자가 분해는 매우 중요함. 우리는 또한 분뇨에 분사된 바이오폼 생성을 위해 사용된 계면활성제의 생분해도를 수행함. 그림 7.4a에 나타난 바와 같이, 돼지 분뇨(52g)를 텍스트 박스(500ml; 그림 7.4a)에 넣은 다음, 0.5% (w/v) 음이온 계면활성제(AOS; 소듐 알파 올레핀 술포네이트) 12ml와 혼합됨. 생분해 정도는 시간에 따른 분뇨 내 잔류 AOS의 확인을 통해 결정됨. 실험은 메틸렌 블루 음이온 계면활성제(MBAS) 방법을 사용한 분광계 방법(그림 7.4b 참조)으로 수행됨. 결정 방법은 Wyrwas와 Zgota-Grzeskowiak, 2014에 언급됨. 또한, 알려진 빠른 생분해 가능성을 가진 기준 계면활성제인 LAS(리니어 알킬 술포네이트)에 대해 동일한 실험이 수행됨.

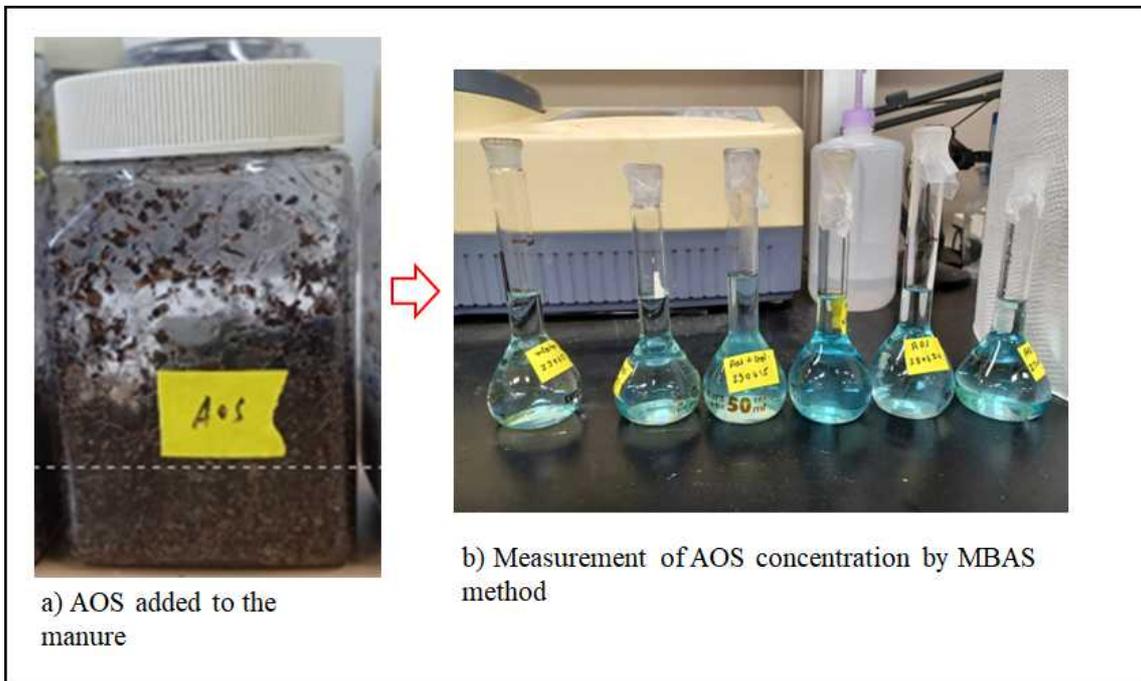


그림 7.4. a) AOS(소듐 알파 올레핀 술포네이트) 계면활성제가 돼지 분뇨와 혼합된 상태, b) 메틸렌 블루-음이온 계면활성제(MBAS) 방법을 사용한 분뇨 내 AOS 농도 측정.

○ 본 연구에서 사용한 계면활성제인 AOS가 돈분에서 생분해 되는 정도를 평가하였다. 시간에 따라 MBAS법에 의한 계면활성제 농도를 분석하였고, 타 음이온성 계면활성제인 LAS 시험도 아울러 진행하였다.

7.2. 돈분 상부 미생물거품 도포 적용 및 암모니아 모니터링 결과

7.2.1 실험실 내 돈분+미생물+계면활성제용액 혼합 시험 결과

(1) 분뇨로부터의 암모니아(NH₃) 방출 농도 변화

그림 7.5a와 b에 나타난 바와 같이, 분뇨에 시약을 첨가하면 분뇨로부터의 NH₃ 방출이 크게 감소함. 그림 7.5a는 다양한 시약 용액 혼합에 따른 시간 경과에 따른 NH₃ 감소를 보여줌. 대조군에서는 공기만 통과시켜서 한 달까지 NH₃가 점차 감소함. 분뇨의 초기 농도(30 ppm)가 한 달 후 8.5 ppm으로 감소함(그림 7.5b도 참조). 시간이 지남에 따라 분뇨로부터 NH₃의 감소는 부드러웠음. 그러나 시약이 첨가되었을 때, NH₃의 감소는 대조군에 비해 더 빨랐음. TP1은 23일 만에 농도를 0 ppm으로 감소시켰으며, TP5는 21일 만에 NH₃를 0 ppm으로 감소시켰음. 마찬가지로 TP1과 TP5의 혼합체는 TP5가 분뇨에 첨가된 것과 같이 21일 만에 NH₃를 0 ppm으로 감소시켰음. 또한 TP1+TP5+포밍 용액 혼합은 19일 만에 NH₃를 0 ppm으로 감소시켰음. 이 연구에서 사용된 포밍 용액은 AOS였음. 그림에서 보듯이, 분뇨에 AOS를 첨가한 후 다른 시약 첨가에 비해 NH₃ 감소가 가속화됨을 관찰할 수 있음.

- 부속미생물 TP1+ 암모니아 생분해균 TP5+ 계면활성제 혼합액을 뿌린 돈분의 암모니아가 가장 급격히 감소하였다. 반면, 공기만 불어넣어준 control의 경우 30일이 경과될 때까지 암모니아 발생이 멈추지 않았다.

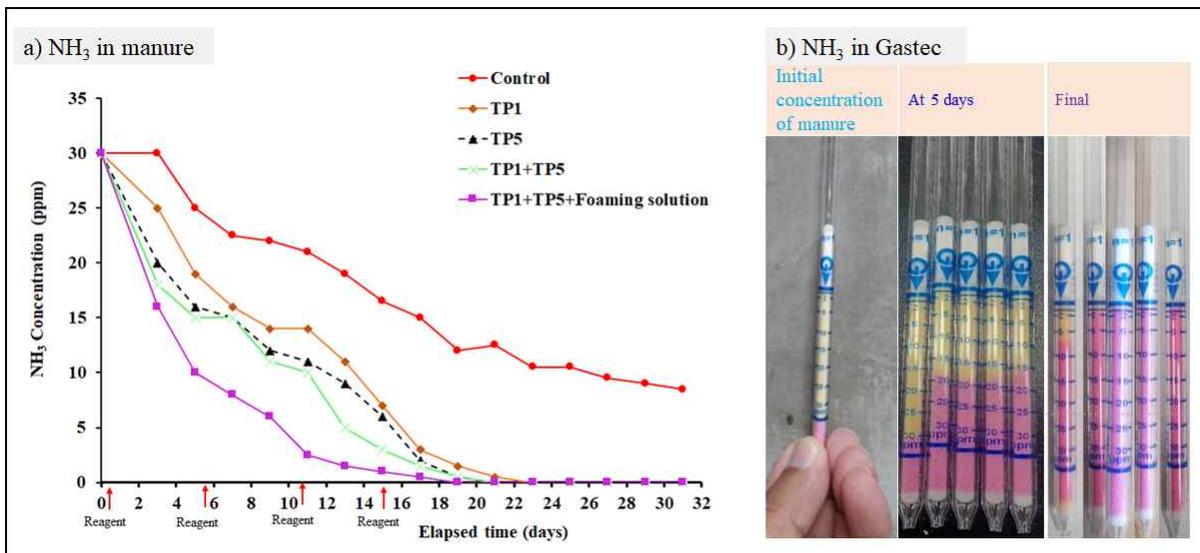


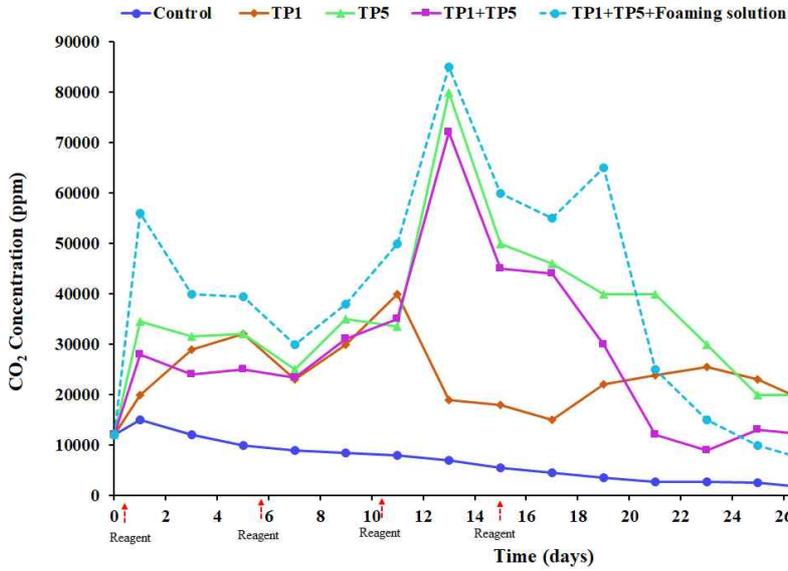
Fig. 7.5. a) the variation of NH₃ concentrations in swine manure after mixing of reagents (total 0.3 PV), and b) the visual evidence in Gastec tube. The foaming solution used is an anionic surfactant (sodium alpha olefin sulfonate; AOS), and TP1 (*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-12632 (99.88%)) and TP5 (*Lactobacillus argenteratensis* DSM 16365 T (100%)) are the bacteria used for biodegradation. Control indicates for aerobic digestion process, using only air supply.

(2) 분뇨로부터의 이산화탄소(CO₂) 생성

그림 7.6에 나타난 바와 같이, 돼지 분뇨의 초기 CO₂ 농도는 12,090 ppm이었으며, 분뇨 처리 방법에 따라 시간이 지남에 따라 변동됨. 공기를 공급하여 호기성 소화를 하는 대조 실험은 초기와 비슷한 수준의 CO₂를 분뇨로부터 생성함. 처음 15일 동안 농도는 12,090에서 5,500 ppm 사이였음. 그러나 15일 후에는 5,500-1,500 ppm 사이였음. 이는 돼지 분뇨의 퇴비화가 향상되지 않았음을 나타냄. TP1이 분뇨와 혼합되었을 때, 초기 12,090 ppm의 분뇨 CO₂ 수준은 11일 만에 40,000 ppm으로 증가했으며, 그 후 점차 감소하기 시작함. 퇴비화 실험 30일 후 분뇨에는 16,800 ppm의 CO₂가 있었음. 그림에서 보듯이 TP5를 혼합한 후에는 TP1을 분뇨에 혼합한 것과 비교하여 CO₂ 생성 정도가 증가함. 초기 CO₂는 13일 만에 80,000 ppm으로 증가했으며, 그 후 점차 감소하여 30일 후에는 18,000 ppm에 도달함. TP1+TP5 혼합체를 혼합한 후에는 초기 CO₂가 점차 증가하여 13일 만에 72,000 ppm에 도달함, 이는 거의 TP1을 분뇨에 혼합한 정도와 같았음. 그 후, CO₂ 배출이 시작되어 감소하여 30일 후에는 8,000 ppm에 이르렀음. 포밍 용액과 TP1 및 TP5 혼합체를 혼합할 때 처음부터 CO₂ 생성이 매우 높았음. 첫 번째 시약을 혼합한 직후 초기 CO₂는 28,000 ppm으로 증가했음. 이 시약을 두 번째와 세 번째로 추가한 후 CO₂ 농도가 급격히 증가했음. 13일 후 CO₂ 농도는 85,000 ppm으로 증가했음. 13일 후 CO₂ 농도가 감소하여 30일 후에는 8,000 ppm에 도달함.

○ 부숙미생물 TP1+ 암모니아 생분해균 TP5+ 계면활성제 혼합액을 뿌린 돈분의 이산화탄소가 가장 급격히 발생되었다. 이는 호기성 산화가 가장 양호하게 일어나고 있음을 시사한다.

그림 7.6.
혼합된 후
소 농도
0.3 PV의
첨가됨.



시약이 분뇨와
분뇨의 이산화탄
(CO2) 변화. 총
시약이 분뇨에

(3) 분뇨의

온도 변화

그림 7.7은 각 분뇨 처리 과정 중 분뇨의 온도 변화를 보여줌. 공기 공급으로 분뇨가 처리되었을 때(대조), 온도는 20-25°C 범위였음. TP1 박테리아가 분뇨에 혼합될 때 온도는 증가하여 11일 후에 34°C에 도달함. 그 후, 분뇨의 온도는 26°C로 감소하고 실험 내내 26-28°C 범위에서 유지됨. TP5 박테리아가 분뇨에 혼합될 때 온도는 최대 52°C까지 증가하여 19일 동안 유지됨. 온도는 점차 감소하여 30일까지 22°C에서 유지됨. 마찬가지로, TP1과 TP5가 함께 분뇨에 혼합된 후 온도는 18일 만에 43°C까지 증가함. 그 후, 온도는 감소하여 실험 종료까지 21°C에서 안정적으로 유지됨. 또한, 분뇨에 TP1, TP5 및 포밍 용액이 혼합된 후 온도는 53°C까지 증가함. 이 온도는 실험 시작 후 21일에 기록됨. 21일 후 온도는 감소하기 시작하여 28일 후에는 21-22°C 범위에서 안정적으로 유지됨.

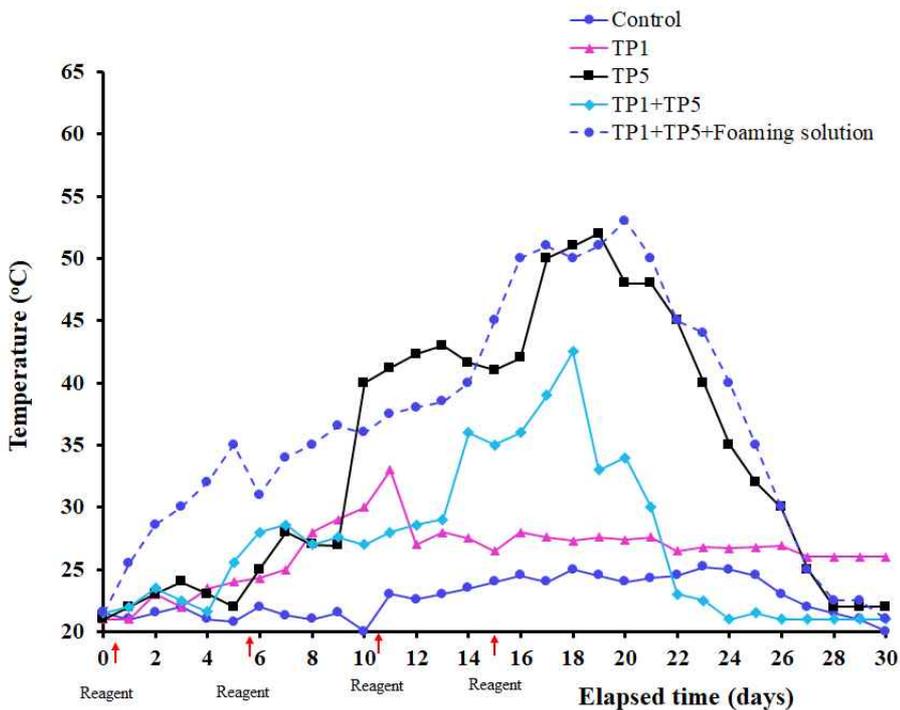


그림 7.7. 시약을 분뇨에 혼합한 후 분뇨 온도의 변화.

○ 부숙미생물 TP1+ 암모니아 생분해균 TP5+ 계면활성제 혼합액을 뿌린 돈분의 온도가 상대적으로 높게 유지되었다. 이는 호기성 산화(부숙)이 가장 양호하게 일어나고 있음을 시사한다.

7.2.2. 미생물 거품도포 현장 시험 결과

(1) 돈분 퇴비 부피 변화 관찰

분뇨 처리를 위한 바이오폼 적용은 현장 규모로 확장되었음. 현장에서 다양한 파라미터가 결정됨. 현장에서 바이오폼은 6개월 동안 한 달에 4번 분사되었고, 그 후에는 한 달에 두 번 분사됨. 그림 7.8은 시간에 따른 분뇨 부피(Fig. 7.8A)와 분뇨에 분사된 바이오폼의 커버링(Fig. 7.8B)을 보여줌. 폼 분사 후 분뇨 부피가 감소한 것이 눈에 띈. 이 부피 감소는 분뇨의 퇴비화로 인한 것임. 신선한 분뇨가 지속적으로 오래된 분뇨와 혼합되었음에도 불구하고, 분뇨 부피의 감소는 중요했음. 그림 7.8A에서 보듯이, 실험 시작 전 퇴비장에는 55 m³의 분뇨가 저장되어 있었음. 바이오폼이 분사됨에 따라 부피는 3개월 만에 50 m³로 감소함. 마찬가지로, 분뇨 부피는 각각 6, 8, 9, 10, 11, 13개월에 38.5, 35.7, 32, 25, 25, 20, 25, 18 m³로 감소함.

A. Experimental manure



B. Foam cover



그림 7.8. A) 시간에 따른 분뇨 부피 변화, B)

바이오폼 분사로 인한 분뇨 커버링.

퇴비장에서는 매일 신선한 분뇨가 추가되며, 대략 일주일에 두 번씩 오래된 분뇨와 자주 혼합됨. 폼 분사가 없으면 분뇨 부피가 증가할 것으로 예상됨. 그림 7.9에 나타난 바와 같이, 우리는 퇴비장에 저장될 것으로 예상되는 분뇨의 부피를 계산했으며, 이는 대조 분뇨로 간주됨. 처음에 퇴비장에는 55 m³의 분뇨가 있었음. 바이오폼이 적용되지 않았을 경우, 이 부피는 3개월 후에 57.4 m³로 증가했을 것임. 마찬가지로, 이 증가는 각각 6, 8, 9, 10, 11, 13개월 후에 62.2, 69.5, 74.3, 76.7, 79.1, 81.5 m³가 될 것임. 그러나 바이오폼이 적용되면서 분뇨 부피가 현저하게 감소함(그림 7.8 및 그림 7.9 참조).

○ 미생물거품도포를 지속적으로 시행한 결과 돈분 퇴비 부피가 control에 비해 과반 이상으로 감소한 것으로 나타남. control은 유입량과 자연저감 고려

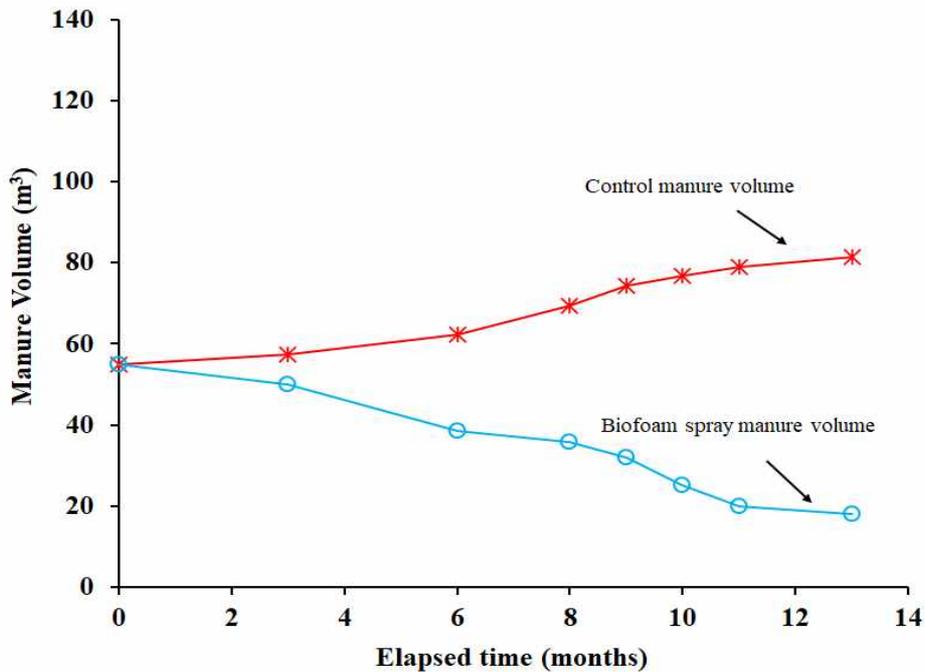


그림 7.9. 퇴비화 집에서 분뇨 부피의 변화. 대조 분뇨 부피는 퇴비화 집에 추가될 것으로 예상되는 분뇨의 부피를 나타냄. 바이오폼 분사 분뇨 부피는 바이오폼 분사 후 감소한 부피의 양임.

13개월의 분뇨 처리 후, 대부분의 분뇨가 제거되었고 신선한 분뇨가 지속적으로 처리 없이(폼 분사 없이) 저장되었음. 그림 7.10에 나타난 바와 같이, 6 m³의 분뇨 부피가 11일 만에 6.8

m³로 증가함. 부피는 그 후 19, 25, 30, 120일에 각각 7.5, 7.9, 8.2, 15 m³로 더 증가함. 폼 분사를 했을 때, 분뇨 부피의 감소는 관찰되지 않았으며, 추정된 시간 프레임(하루 0.08 m³) 동안 퇴비화 집에 저장된 부피는 들어오는 분뇨 부피와 유사했음.

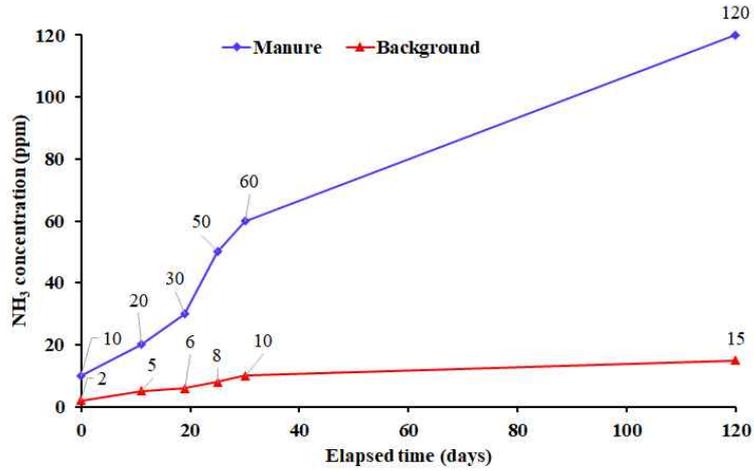


그림 7.10. 폼 분사 없이 퇴비화 집에 저장된 분뇨의 부피

퇴비화 집에서 분뇨가 저장된 후, 분뇨뿐만 아니라 배경의 NH₃ 농도도 증가함. 그림 7.11에 나타난 바와 같이, 초기 분뇨 농도는 10 ppm이었으며, 이는 11일 후에 20 ppm으로 증가함. 또한 NH₃는 19, 25, 30, 120일에 각각 30, 50, 60, 120 ppm으로 증가함. 분뇨 농도가 증가함에 따라 배경의 NH₃도 각각 증가함. 초기에는 NH₃가 2 ppm이었지만, 11일 후에 5 ppm으로 증가함. 이후 19, 25, 30, 120일에 각각 6, 8, 10, 15 ppm으로 더 증가함. 분뇨의 NH₃ 증가에 따라 배경 농도가 일관되게 증가함.

그림 7.11. 바이오폼 분사 없이 저장된 돼지 분뇨의 NH₃ 농도 변화. 배경은 퇴비화 시설의 입구 근처 공기의 NH₃ 농도를 나타냄.

실험이 진행됨에 따라, 분뇨 부피 감소와 함께 암모니아 농도도 감소함. 초기에 분뇨에는 90 ppm의 NH₃가 있었으나, 3개월 후에는 38 ppm으로 감소함(그림 11). 마찬가지로, NH₃는 6, 8, 9, 10, 11, 13개월에 각각 35, 33, 20, 20, 18, 15 ppm으로 감소함. 분뇨 NH₃ 농도 감소와 함께, 배경 농도인 퇴비화 시설 입구의 NH₃ 농도는 초기 15 ppm에서 8, 6, 6, 3, 3,



2, 1.5 ppm으로 각각 감소함.

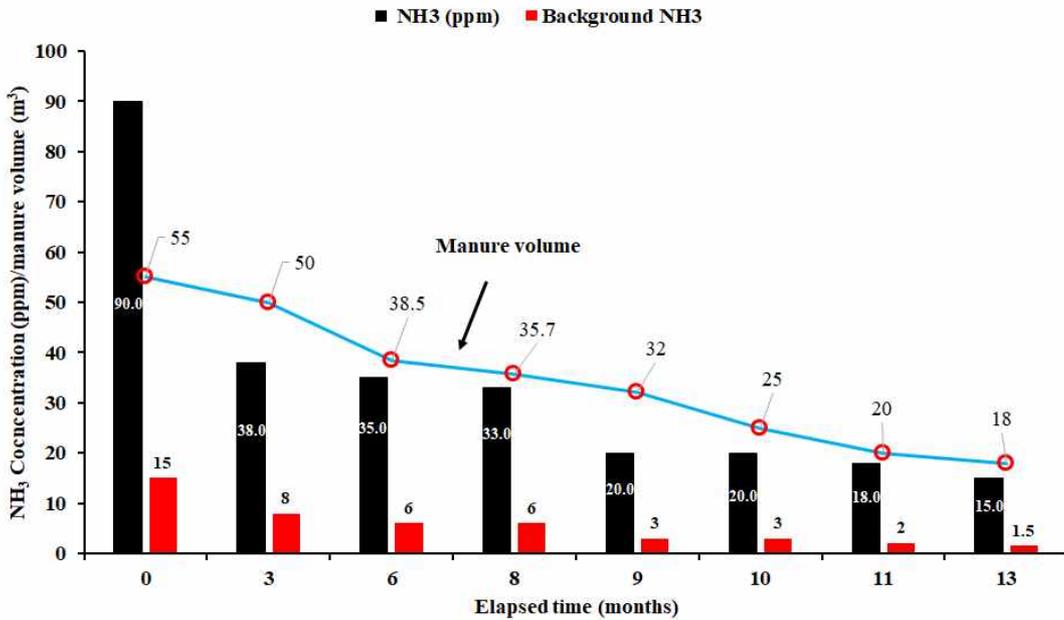


그림 7.12. 바이오폼 분사 후 분뇨와 배경의 암모니아(NH3) 농도 변화와 분뇨 부피 감소.

○ 미생물거품도포를 지속적으로 시행한 결과 돈분 상부에서 발생하는 암모니아 농도가 절대적으로 감소하고, 돈분장 입구에서 측정한 암모니아 농도도 절대적으로 감소하는 것을 확인함.

7.2.3. 계면활성제 생분해 시험 결과

분뇨 내 계면활성제의 생분해가 결정됨. 그림 7.13에 나타난 바와 같이, 짧은 시간 내에 계면활성제의 빠른 분해가 이루어짐. 4일째에 AOS는 76% 감소하였고, LAS는 38% 감소함. 초기에 AOS는 LAS보다 빠르게 생분해되는 것으로 나타남. 그러나 시간이 경과함에 따라 AOS와 LAS는 분뇨에서 같은 정도로 분해됨. 45일째에 AOS는 분뇨에서 90% 감소했으며, 같은 시간에 테스트 분뇨에서 LAS는 86% 감소함. 이는 AOS가 빠르게 분해되는 것으로 알려진 다른

계면활성제보다 더 생분해가 가능함을 나타냄.

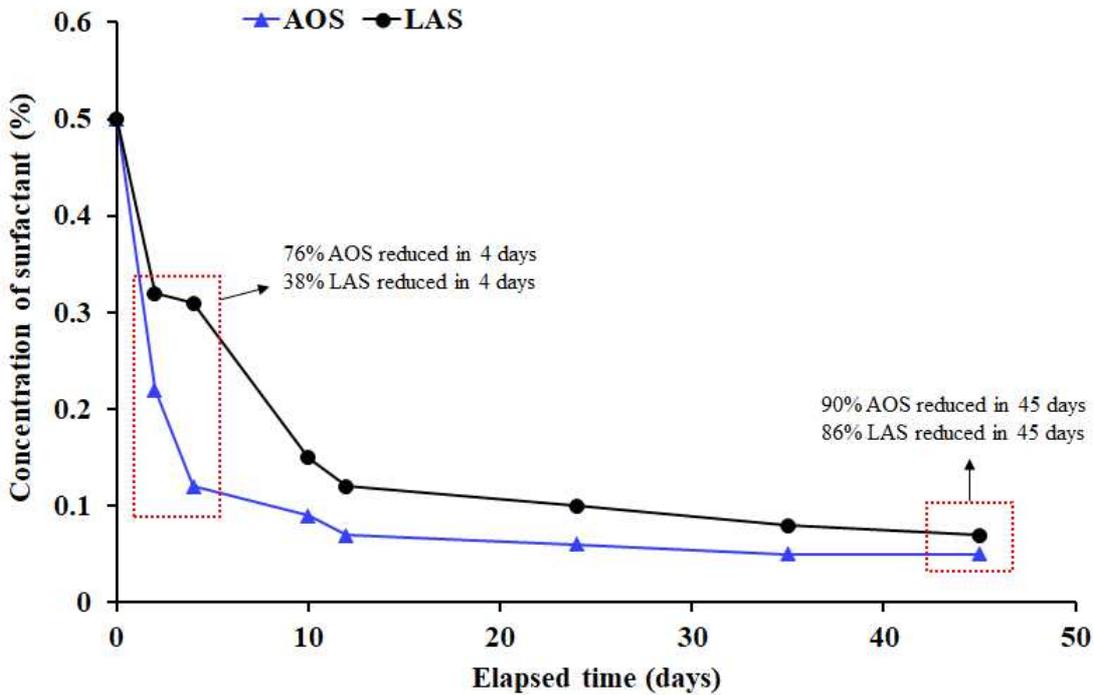


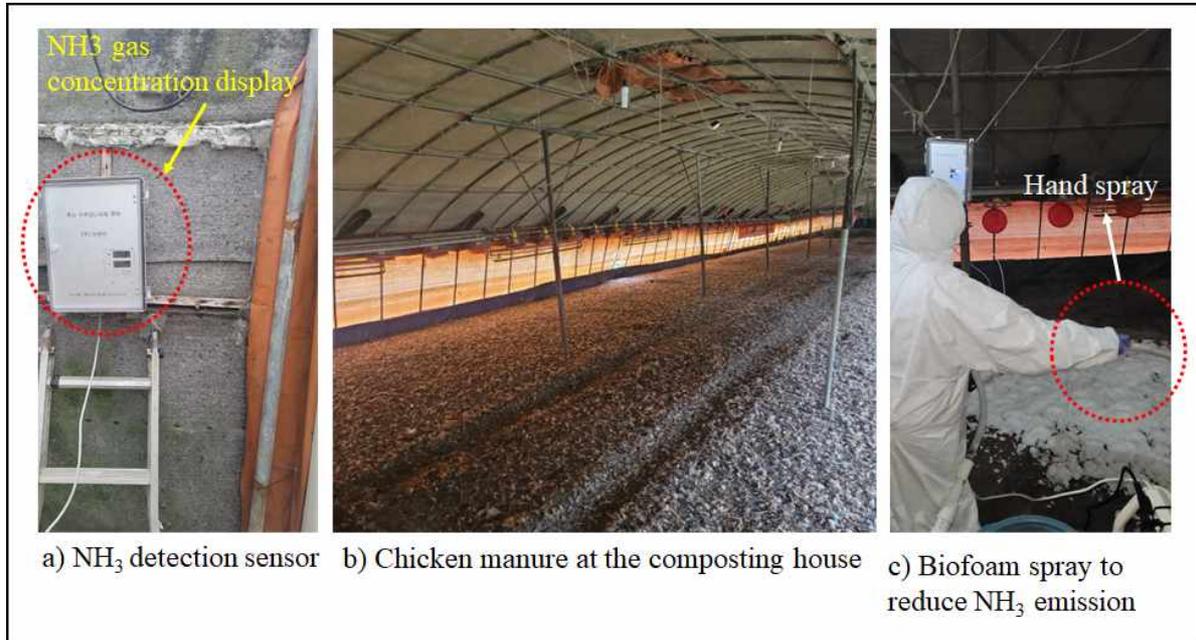
그림 7.13. 시간에 따른 돼지 분뇨 내 계면활성제 농도 결정. 바이오폼 생성을 위해 사용된 계면활성제는 AOS(소듐 알파 올레핀 술포네이트)였음. 빠른 생분해로 알려진 참고 계면활성제로 LAS(리니어 알킬 술포네이트)가 사용됨.

○ 미생물거품도포에 사용된 AOS는 돈분 내에서 급격하게 생분해되는 것으로 나타남.

계사 미생물거품 도포 적용 및 암모니아 모니터링

닭 분뇨의 NH₃ 모니터링은 바이오폼 분사 전후에 수행됨. 그림 8.1a에 나타난 바와 같이 NH₃ 센서(INNOVA 1409, 덴마크)가 NH₃ 농도 감지에 사용됨. 바이오폼은 닭 분뇨에 분사되었음(닭 분뇨에 대한 그림 8.1b와 분뇨에 대한 폼 분사에 대한 그림 8.1c 참조). 바이오폼은 일주일에 두 번 손으로 분사됨. 한 번에 40분 동안 폼을 분사함.

그림 8.1. a) 닭 분뇨용 NH₃ 탐지 센서, b) 퇴비화 집에 저장된 닭 분뇨, c) 냄새 감소를 위한 닭 분뇨에 대한 바이오폼의 수작업 분사.



닭 분뇨에서도 바이오폼 실험이 수행됨. 아래 그림 8.2에 나타난 바와 같이, 닭 분뇨에서 NH₃ 농도가 현저하게 감소함. 1번 사이트(그림 8.2A 참조)에서는 분뇨의 NH₃ 농도가 10.5 - 16.3 ppm이었는데, 바이오폼 분사 후 1.4 - 3.1 ppm으로 감소함. 바이오폼 분사는 약 한 달 동안 NH₃ 농도를 감소시킴. 한 달 후 새로운 신선한 분뇨가 저장되면서 다시 NH₃가 10.2 - 28.1 ppm으로 증가함. 같은 NH₃ 감소 추세가 2번 사이트(그림 8.2B 참조)에서도 관찰됨. 이 사이트에서 초기 NH₃ 농도는 11.5 - 16.3 ppm이었음. 바이오폼 분사 후, NH₃는 한 달 동안 0.05 - 3.24 ppm으로 감소함. 한 달 후 신선한 분뇨가 저장되면서 다시 NH₃가 증가하기 시작하여 8.10 - 29.21 ppm에 도달함. 닭 분뇨 표면에서의 NH₃ 배출은 바이오폼 분사로 감소됨.

그림 8.2. A) 1번 사이트와 B) 2번 사이트의 퇴비화 집에서 닭 분뇨의 NH₃ 변화(매일 평균 농도). 바이오폼 실험은 한 달 동안 주 3회(분사당 40분) 바이오폼을 분사하여 진행되었으며, 바이오폼은 4시간 동안 안정적임.

○ 미생물거품도포에 의한 계사 내부 암모니아 농도 감소 및 유지 효과 확인

6) 위탁연구기관: 충북대학교

<성과지표 현황>

평가항목	단위	연구개발 목표치	성과(자체 평가)
돈사 pit 거품 도포 면적	%	50%	100% (초과달성)
돈분 슬러리상 거품지속시간	hrs	2	2 (달성)
돈분 슬러리상 암모니아 저감율	%	50	80 (현장 90 ppm->18ppm)

○ (양계 복합악취 영향 요인 파악) 양계 복합악취에 영향을 미치는 요인들에 대한 기여도 평가를 위해서, 데이터 전처리 - 예측 모형 추정 - 모형 해석 순으로 분석 진행.

• 복합 악취 구성 인자 특성 파악

→ 측정 항목으로는 복합 악취, 악취방지법에서 지정한 지정악취물질 19종, 축산에선 자주 발생하는 비지정악취물질 6종으로 총 26종의 악취 물질을 측정.

→ t-검정 결과로는, 황화수소, 다이메틸설파이드, 프로피온산, n-뷰틸산, i-발레르산, 아세트산, i-뷰틸산, 스카톨이 유의수준 0.05에서 통계적으로 산란계와 육계 사이의 차이가 존재하는 것으로 나타남 ([표 7]).

[표 127] 복합 악취 구성 인자 특성표

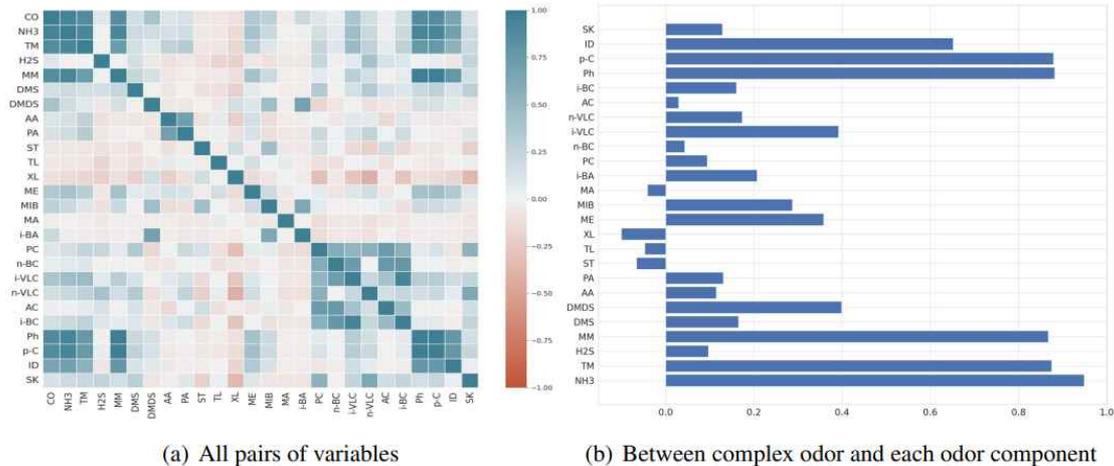
분류	구성 인자		약어	산란계		육계		유의 확률
				평균	표준편차	평균	표준편차	
독립 변수	질소화합물	암모니아	NH3	34.878	122.065	2.345	2.800	0.1
		트라이메틸아민	TM	0.099	0.392	0.001	0.001	0.121
	황화합물	황화수소	H2S	0.001	0.004	<0.001	<0.001	0.007
		메틸메르캅탄	MM	0.006	0.022	<0.001	<0.001	0.072
		다이메틸설파이드	DMS	0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.021
		다이메틸다이설파이드	DMDS	0.004	0.016	0.01	0.03	0.442
	알데하이드류	아세트알데하이드	AA	0.015	0.034	0.044	0.075	0.101
		프로피온알데하이드	PA	0.002	0.004	0.004	0.013	0.453
	탄화수소류	스타이렌	ST	0.001	0.002	0.004	0.009	0.090
		톨루엔	TL	0.006	0.012	0.010	0.013	0.2688
		자일렌	XL	0.018	0.031	0.023	0.045	0.63
		메틸에틸케톤	ME	0.008	0.015	0.009	0.006	0.846
		메틸아이스뷰틸케톤	MIB	<0.001	0.001	0.001	0.004	0.206
		뷰틸아세테이트	MA	<0.001	<0.001	0.005	0.020	0.298
		i-뷰틸알코올	i-BA	<0.001	0.001	0.005	0.005	0.247
	휘발성 지방산	프로피온산	PC	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
		n-뷰틸산	n-BC	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.032
		i-발레르산	i-VLC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.013
		n-발레르산	n-VLC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.119
		아세트산	AC	0.004	0.002	0.002	0.002	0.003
		i-뷰틸산	i-BC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
	휘발성 유기화합물	페놀	Ph	0.001	0.004	<0.001	<0.001	0.170
		p-크레졸	p-C	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.076
		인돌	ID	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.375
		스카톨	SK	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	종속 변수	복합 악취		CO	433.7	1708.86	55.190	76.952

• 악취 구성 인자 사이의 상관관계 파악

→ 상관관계가 높은 집단은 암모니아, 트라이메틸아민, 메틸메르카반, 페놀, p-크레졸,

인돌로 구성되어 있고 이들은 쌍별 상관계수가 0.75이상으로 나타남. 또한, 프로피온산, n-뷰틸산, i-발레르산으로 이루어진 집단은 쌍별 상관계수가 0.5이상으로 나타남 ([그림 2-a]).

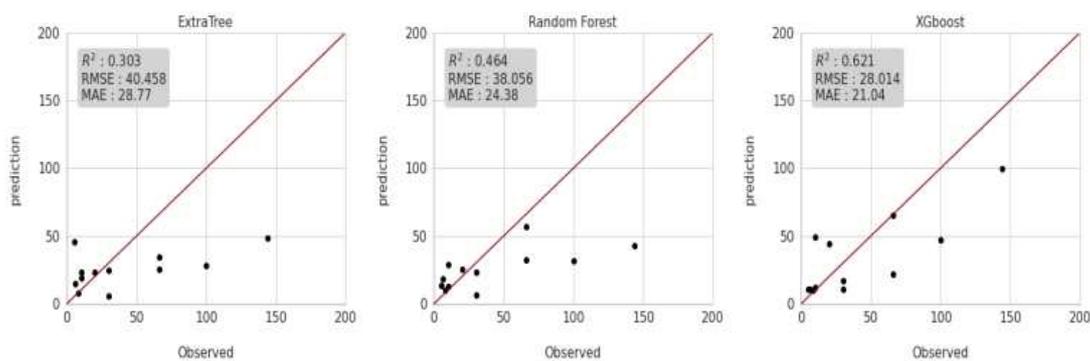
→ 암모니아, p-크레졸, 인돌, 트라이메틸설파이드 순으로 복합 악취와 높은 상관관계를 보임 ([그림 2-b]).



[그림 293] 상관관계 분석 결과

• 예측 모형 추정 및 비교

- 80% 훈련 자료와 20% 시험 자료로 나누어 모형 추정.
- 모형 추정시 하이퍼파라미터 최적화를 위해 훈련 자료에 10-fold 교차검증법을 이용하여 최적화 진행(ExtraTree: 최대 깊이 12, 트리 수 250/ Random Forest: 최대 깊이 12, 트리 수 200/ XGBoost: 최대 깊이 12, 트리 수 100).
- 20% 시험 자료를 이용하여 각 최적 모형들의 성능을 확인.
- XGBoost는 모든 평가 척도에서 가장 좋은 성능을 보였으며, R^2 는 0.621, RMSE는 28.014, MAE는 21.04로 나타남.

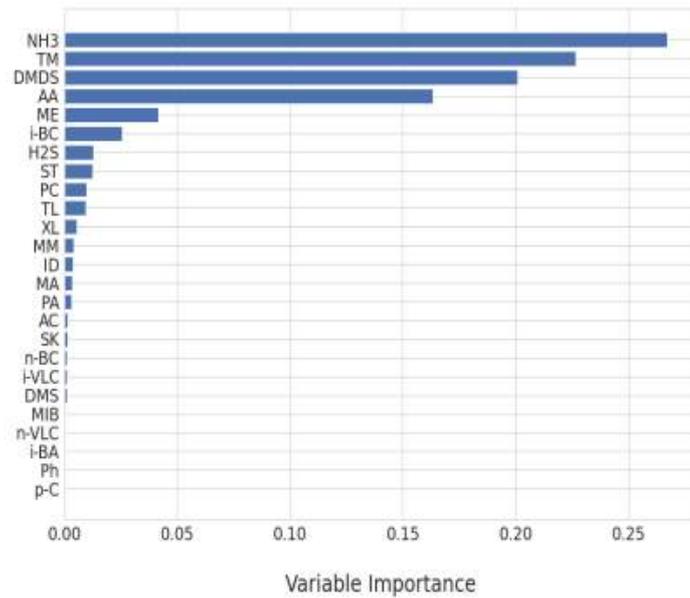


[그림 294] 기계 학습 모형 비교 결과

• 모형 해석: 변수 중요도

- 변수 중요도 결과로, 암모니아, 트라이메틸아민, 다이메틸다이설파이드, 아세트알데하이드 순으로 변수 중요도가 높은 것으로 나타남.
- 특히, 암모니아는 변수 중요도 값이 0.25이상으로 다른 구성 인자들에 비해 높은 중

요도를 보이는 것으로 나타남 ([그림 4]).



[그림 295] XGBoost 변수 중요도 결과

• 분산 분석

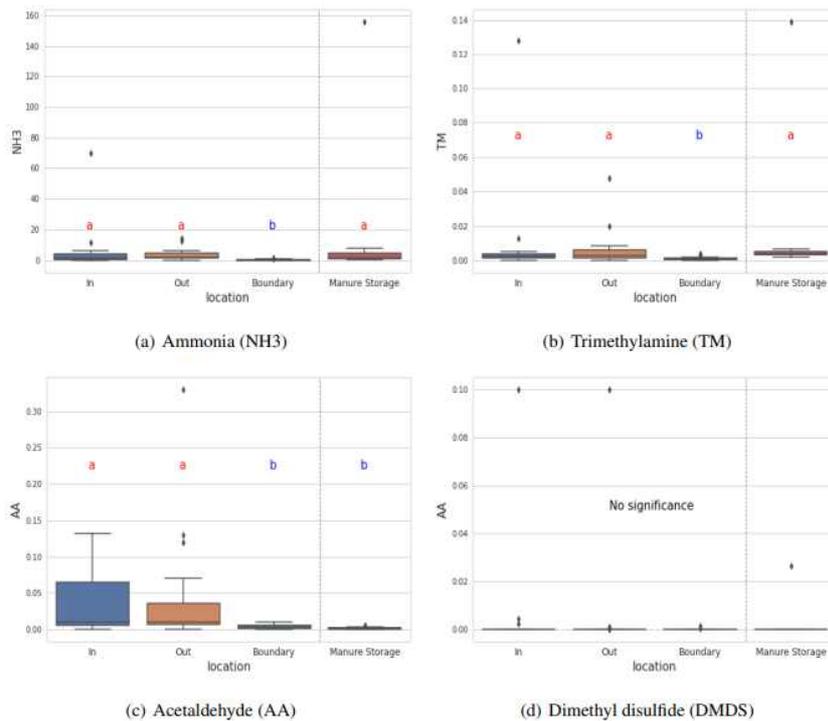
- 부지 경계, 퇴비장, 계사 외부, 계사 내부별 악취 구성 인자 농도 차이 검정.
- 변수 중요도 결과에서 높은 변수 중요도를 갖는 암모니아, 트라이메틸아민, 아세트알데하이드는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 것으로 나타나 해당 구성 인자들은 적어도 하나의 위치에선 측정값의 차이가 있는 것으로 나타남 ([표 8]).

• 사후 분석

- 높은 변수 중요도를 보이는 암모니아, 트라이메틸아민, 아세트알데하이드의 Dunn 사후 분석 실시.
- 유의수준 0.05에서의 분석 결과로, 암모니아는 부지 경계와 나머지 위치 사이의 농도가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타남.
- 마지막으로, 아세트알데하이드는 부지 경계과 퇴비장, 계사내부와 계사외부로 통계적으로 집단이 나뉘어지는 것으로 나타남 ([그림 5]).

[표 128] 냄새 센서 위치에 대한 분산 분석 결과

약취 인자	농장 경계	퇴비사	외부	내부	F 통계량	유의 확률
CO	10.158	1741.890	72.111	89.267	4.425	0.001
NH3	0.388	139.867	3.883	7.22	5.996	0.001
TM	0.001	0.410	0.007	0.011	4.896	0.004
H2S	<0.001	<0.001	0.002	0.002	1.227	0.308
MM	<0.001	0.027	<0.001	<0.001	7.471	<0.001
DMS	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.687	0.563
DMDS	<0.001	0.017	0.006	0.007	1.220	0.311
AA	0.004	0.019	0.044	0.033	2.057	0.116
PA	<0.001	0.002	0.005	0.002	0.866	0.464
ST	0.002	0.001	0.003	0.002	0.203	0.894
TL	0.009	0.003	0.006	0.009	0.659	0.581
XL	0.023	0.032	0.015	0.013	0.634	0.596
ME	0.004	0.014	0.011	0.008	1.792	0.159
MIB	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.429	0.733
MA	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	0.755	0.524
i-BA	0.001	0.001	<0.001	0.001	0.407	0.749
PC	0.001	0.001	0.001	0.001	0.486	0.694
n-BC	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	5.402	0.002
i-VLC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	4.568	0.006
n-VLC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.893	0.450
AC	0.002	0.004	0.004	0.002	3.326	0.026
i-BC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	3.145	0.032
Ph	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	3.259	0.028
p-C	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	2.697	0.054
ID	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.376	0.259
SK	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.076	0.367



[그림 296] Dunn 사후 분석 결과

○ 분석에 사용된 기법 설명

- 랜덤 포레스트(Random Forest) : 부트스트랩(Bootstrap)을 사용해 여러 개의 의사결정 나

무(Decision Tree)를 생성하고 이를 통해 나온 결과에 앙상블(Ensemble) 기법을 적용해 더 나은 일반화 결과를 도출하는 기법.

- 극단 랜덤화 트리(Extra Tree, Extreme Randomized Tree) : Random Forest 기법을 변형시킨 것으로 의사결정 나무의 데이터 분할 과정에 랜덤화를 적용시킨 기법.
- XGboost : 부스팅(Boosting)을 사용해 손실함수를 최소화 시키는 기법으로 분산 환경에서 사용가능.
- 다중 퍼셉트론(Multiple Perceptron) : 퍼셉트론(Perceptron)이란 입력값을 적절한 선형 함수와 활성화 함수를 이용하여 결과를 도출하는 기법으로, 다층 퍼셉트론(Multi Perceptron)은 이러한 퍼셉트론의 층을 늘린 것으로 즉, 입력값을 받아 결과를 도출하기 전까지 계산 과정을 늘린 기법으로 단순한 퍼셉트론보다 더 나은 결과를 도출할 수 있음.

○ 축산 악취 수준에 따른 생산성 비교 모형 설계

- 대조구와 시험구 각각 4개의 방에 돼지를 10마리씩 각 구별 다른 함량의 사료로 사육하고 체중을 비교함으로써, 돼지들의 생산성을 비교.
- 대조구와 시험구의 돼지들은 개시, 자돈 종료, 육성 종료, 비육 종료 시점마다 체중을 측정.
- 시험구의 3번방과 4번방의 돼지는 한 마리씩 폐사하였기 때문에 해당 개체들은 분석에서 제외.
- 단계별 독립표본 t-검정 실시.
 - 대조구, 시험구의 돼지들의 평균 체중에 차이가 있는지 알아보기 위해 단계별 독립표본 t-검정을 실시.
 - t-검정 결과로, 각 단계의 유의 확률은 0.822, 0.8697, 0.8025, 0.741이며, 이는 유의 수준 0.05에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타남 ([표 9]).

[표 129] 단계별 독립표본 t-검정 결과 (평균 체중)

단계	Type	평균(kg)	표준편차	T 통계량	유의 확률
개시	대조구	13.075	1.7118	0.2257	0.822
	시험구	12.9868	1.7378		
자돈종료	대조구	29.9625	4.6786	0.1646	0.8697
	시험구	29.7895	4.5997		
육성종료	대조구	76.775	10.37	-0.251	0.8025
	시험구	77.329	9.0294		
비육종료	대조구	103.2625	11.3137	-0.3317	0.741
	시험구	104.0263	8.7957		

- 개시 기준 체중 증가량 비율에 대한 t-검정 실시.
 - 각 단계별 체중 비교를 할 때 단순히 측정된 체중의 평균을 사용할 경우, 초기 배정된 돼지들의 체중이 동일하지 않아 발생하는 차이가 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 돼지들의 평균 무게 대신 개시 기준 돼지들의 체중 증가 비율을 사용.
 - 증가 비율의 평균에 대한 t-검정 결과 유의 확률은 0.873, 0.54, 0.584로 유의수준 0.05에서 대조구, 시험구의 증가 비율의 평균도 통계적으로 유의한 차이가 없음 ([표 9]).

10]).

[표 130] 단계별 독립표본 t-검정 결과 (평균 증가 비율)

증가비율	Type	평균(%)	표준편차	T 통계량	P-value
Ratio2	대조구	229.0379	18.4294	-0.1603	0.873
	시험구	229.7767	22.1765		
Ratio3	대조구	590.7497	69.888	-0.6144	0.5408
	시험구	599.9738	62.2288		
Ratio4	대조구	798.3905	105.7817	-0.5487	0.5848
	시험구	810.9309	95.4645		

• 반복 측정 분산 분석 실시.

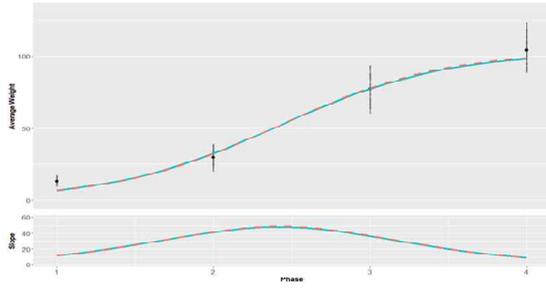
- 반복 측정 분산 분석은 시간이 경과함에 따라 동일한 개체들의 측정값이 존재할 때 사용 가능.
- 검정 결과로, Type(대조구/시험구)와 각 시점 사이의 교호효과 항에 대한 유의 확률은 0.9239로 유의수준 0.05에서 효과가 없다고 할 수 있음.
- 또한, Type(대조구/시험구) 항의 유의 확률은 0.846으로 역시 유의수준 0.05에서 효과가 없다고 할 수 있음.
- 시점 항(개시, 자돈 종료, 육성 종료, 비육 종료)의 유의 확률은 0.001보다 작아 유의수준 0.05에서 유의한 효과 차이를 보임.
- 결과적으로, 돼지들의 체중은 시점 변화에 따라서만 유의미한 효과 차이를 갖는 것으로 나타남 ([표 11]).

[표 131] 시점과 Type 별 이원 배치 반복 측정 분산 분석 결과

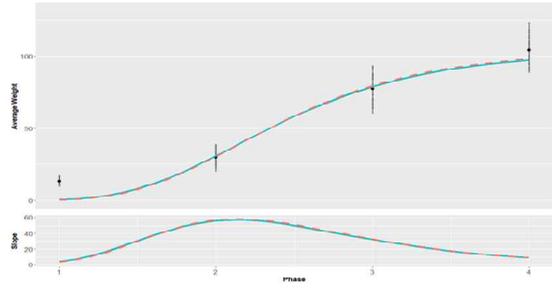
Effect	DFn	DFd	SSn	SSd	F 통계량	유의 확률
Type	1	76	5.4387	10876.029	0.038	0.846
Time	3	228	408602.6323	6051.579	5131.52	<0.001
Type:Time	3	228	12.645	6051.579	0.1588	0.9239

• 성장곡선 적합.

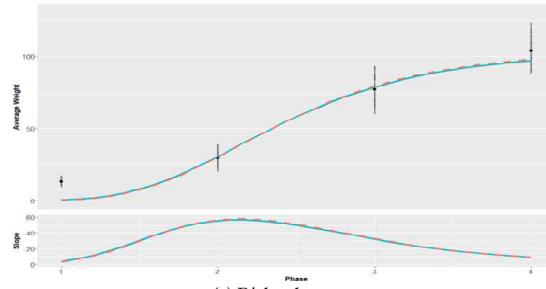
- 돼지의 체중에 대한 성장그래프를 비선형 함수 Logistic, Gompertz, Richards 함수에 적합시키고 기울기와 함께 그려 대조구와 시험구를 비교 (파란색 실선: 대조구 / 빨간색 점선: 시험구).
- (a) Logistic 함수는 2단계와 3단계 즉 자돈과 육성단계 사이에 발육이 촉진되는 것으로 나타남.
- (b, c) Gompertz와 Richards 함수는 2단계, 자돈단계 부근에서 발육이 촉진되는 것으로 나타남.
- 세 가지 함수 모두 대조구/시험구의 선들이 상당 부분 겹쳐있으므로 대조구/시험구 간의 차이가 있다고 보기는 어려움 ([그림 6]).



(a) Logistic



(b) Gompertz



(c) Richards

[그림 297] 성장곡선 및 기울기 그림

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부·과학기술정보통신부·농촌진흥청에서 시행한 “스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업”의 “현장 맞춤형 지능형 축산 (양돈, 양계) 냄새 제어 기술” 연구 개발과제 최종보고서입니다.
2. 이 연구개발 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부·과학기술정보통신부·농촌진흥청((재)스마트팜연구개발사업단)에서 시행한 “스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업”의 “현장 맞춤형 지능형 축산 (양돈, 양계) 냄새 제어 기술” 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.