

318012-4

축산환경개선을위한유용제제(복합미생물)개발및실증연구

2021

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
유용농생명자원산업화기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003997-01

축산 환경 개선을 위한
유용제제(복합미생물) 개발 및 실증 연구

2022. 03. 30.

주관연구기관 / (재)농축산용미생물산업육성지원센터
협동연구기관 / (주)동아하이-텍

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

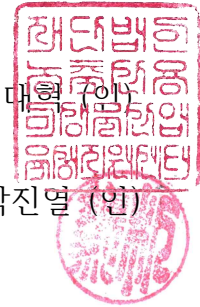
농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “축산 환경 개선을 위한 유용제제(복합미생물) 개발 및 실증 연구”(개발기간 : 2018. 04. ~ 2021. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 03. 30.

주관연구기관명 : (재)농축산용미생물산업육성지원센터 (대표자)김대현 (인)

협동연구기관명 : (주)동아하이텍 (대표자)박진열 (인)



주관연구책임자 : 한 귀 환

협동연구책임자 : 박 진 열

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서

보안등급
일반[√], 보안[]

중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명		유용농생명자원 산업화기술개발사업			
전문기관명	농림식품기술기획평가원				내역사업명					
공고번호				총괄연구개발 식별번호						
				연구개발과제번호		318012-4				
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0503	50%	LB0399	25%	LB0599	25%			
	농림식품과학기술분류	AB0203	50%	CA0199	30%	AB0299	20%			
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문								
		영문								
연구개발과제명		국문	축산 환경 개선을 위한 유용제제(복합미생물) 개발 및 실증 연구							
		영문	Development of microbial odor controlling technology and test-bed requirements							
주관연구개발기관		기관명	(재)농축산용미생물산업육성지원센터		사업자등록번호					
		주소	(50212) 전북 정읍시 참교학로 241		법인등록번호					
연구책임자		성명	한귀환		직위		팀장			
		연락처	직장전화			휴대전화				
		전자우편			국가연구자번호					
연구개발기간		전체		2018. 04. 26 - 2021. 12. 31 (3년 9개월)						
		단계	1단계		2018. 04. 26 - 2021. 12. 31 (3년 9개월)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()		합계		연구 개발 비 외 지원금
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		750,000	26,000	224,100			776,000	224,100	1,000,100	
1단계	1년차	150,000	5,000	45,000			155,000	45,000	200,000	
	2년차	200,000	7,000	59,700			207,000	59,000	266,700	
	3년차	200,000	7,000	59,700			207,000	59,000	266,700	
	4년차	200,000	7,000	59,700			207,000	59,000	266,700	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편		비고		
								역할	기관 유형	
공동연구개발기관		(주)동아하이-텍	박진열	소장				공동	중소 기업	
위탁연구개발기관										
연구개발기관 외 기관										
연구개발담당자 실무담당자		성명	김공민		직위		선임연구원			
		연락처	직장전화			휴대전화				
		전자우편			국가연구자번호					

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

2022 년 03월 19일

연구책임자: 한 귀 환

주관연구개발기관의 장: (재)농축산용미생물산업육성지원센터장 (직인)

공동연구개발기관의 장: (주)동아하이-텍 대표



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		유용농생명자원산업화기술개발사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		318012-4	
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0503	50%	LB0399	25%	LB0599	25%
	농림식품 과학기술분류	AB0203	50%	CA0199	30%	AB0299	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		축산 환경 개선을 위한 유용제제(복합미생물) 개발 및 실증 연구					
전체 연구개발기간		2014. 04. 26 - 2021. 12. 31 (3년 9개월)					
총 연구개발비		총 1,000,100 천원 (정부지원연구개발비: 750,000 천원, 기관부담연구개발비: 250,100 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		축산 악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 실증 연구				
	전체 내용		<p>본 연구에서는 축산농가 악취저감 문제점을 해결하기 위해서는 축산 농가에서 발생하는 주요 악취 물질들의 정량적/정성적 분석, 악취기여도에 대한 표준을 마련하고자 한다. 본 연구는 사회적으로 커다란 문제로 부각되고 있는 축산 악취발생 제어/저감 기술개발 과제이며, 주요 악취물질들의 정량적/정성적 분석, 악취제어/저감용 친환경 복합미생물제제 개발 및 현장적용 사용지침서(매뉴얼)를 마련하고자 한다. 또한, 국내에서 활용중인 미생물제제에 대한 성능개선 기술을 개발하고, 특히 축산 현장에서 효율적인 활용을 위해 현장실증을 수행함으로써 표준화된 활용매뉴얼 개발을 목표로 하고 있다. 이를 통해 실용적이고, 경제적인 축산 악취저감 기술을 개발하고 표준 매뉴얼 보급을 통해 축산 농가 등 생산자 단체의 자발적 친환경축산 경영을 유도함으로써 사회적 농업시대에 기여하고자 한다.</p>				
	1단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산 농가에서 발생하는 악취물질을 효과적으로 제어/저감 할 수 있는 복합미생물 제제 개발 ○ 광역 지역 내 악취발생 농가의 악취 발생 제어/저감 기술 보급 및 현장실증 ○ 축산 악취 발생 대응 및 복합미생물제제 활용방법 매뉴얼 개발 및 현장 보급 				

		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산 악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 악취 물질 제어/저감 성능 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 악취 제어 및 저감 효능 미생물 개발 (미생물 3종) - 친환경/천연물 악취저감 제제 개발 (천연물 2종) - 악취물질 제어용 복합미생물제제 대량생산 최적화 - 복합미생물제제 대량생산 공정 개발 (연간 100톤 이상 생산 공정 개발) ○ 미생물 기반 축산 농가 내·외부 발생 악취 물질 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 축산 농가 발생 악취물질 발생현황 모니터링 (계절, 사육두수 등에 따른 영향 조사) - 축종별 악취저감 복합미생물제제 최적화 ○ 맞춤형 악취물질 제어/저감 및 확산 방지 시스템(S-Masking) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - S-Masking 시스템 설계 및 시제품 제작 - 축종별 악취 제어/저감 복합미생물제제 적용 ○ 축산 농가 S-masking 시스템 현장 실증 및 악취 확산 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> - 보급형 악취저감 시스템 현장 도입 (2개 농가) - 축산 농가 밀집 지역 내 악취 민원 발생 모니터링 및 악취저감 기술 적용 효과 분석 ○ 축산 악취제어용 복합미생물제제 활용 매뉴얼 개발 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 축종별 복합미생물제제 활용방법 매뉴얼 개발 - 농가 현장적용 및 악취 민원 발생 현황 정밀 분석
--	--	----	---

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구에서 개발한 친환경 악취 제어/확산 방지 기술 및 악취 모니터링 센서 등 자동화 기술을 통합한 S-masking 시스템은 냄새 발생에 관련한 다양한 분야에 응용이 가능할 것으로 판단되어지며, 환경개선, 친환경 축산 기반 원천 기술 개발. ○ 다양한 축산 환경에 근거한 맞춤형 복합/유용미생물 활용 시스템 구축으로 현실적/실용적 축산 악취 문제 해결형 모델 확립. ○ 복합미생물제제의 대량생산을 위한 배양·생산 공정 확립을 통한 다양한 종류의 복합미생물 제품 대량생산 확대 가능. ○ 복합/유용미생물제제의 등록을 통한 친환경 미생물제제 수요 축적으로 인한 농축산인의 심리적 기대 충족. ○ 축산용 미생물제제의 산업화 공정 확립을 통한 미생물 산업화 기술 확보. ○ 친환경, 고부가가치 창출을 통한 축산산업 발전의 토대 마련. ○ 사료 첨가용 생균제 등을 비롯한 다양한 농축산용 미생물제제들의 제품화 가능성을 대폭 향상시킬 것으로 기대됨. 따라서 본 연구를 통해 복합미생물을 기반으로 하는 미생물제품의 고기능 경제적/산업적 가치가 클 것으로 예상 됨.
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유용미생물 및 친환경 소재의 복합 효과에 대한 응용 연구로서 활용될 수 있음. ○ 축산 악취 원인 물질의 발생 현장 모니터링 방법의 간소화함으로써 축산 농가에서 직접 악취 현황을 점검할 수 있음. ○ 축산 악취 제어뿐만 아니라 유기성 폐기물 (음식물처리장, 쓰레기 매립장, 사료 공장)등 악취 발생 시설의 대부분에 활용이 가능함. ○ 복합기능 미생물제제 사용에 따른 관련 축산 농가 소득증대 및 친환경 농업 보급 확대.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고품질의 안전한 농축산물 생산으로 국민 복지 증진 기여 및 소비자, 생산자 요구 충족. ○ 유용미생물의 활성기작을 통해 새로운 미생물제제를 개발할 수 있어 지속가능한 친환경농업의 기반 구축에 기여. ○ 축산농가의 발생하는 냄새관련 데이터를 지속적으로 수집·분석하고 공개함으로써 축산농가의 능동적인 냄새관리 분위기 조성. ○ 건강한 사육 환경 조성을 통한 동물복지 및 생산성 향상 기여. ○ 축산악취 제어/확산 방지 기술에 대한 매뉴얼 개발 및 보급을 통해 사회적 악취 문제 대응, 축산인 스스로 능동적으로 대처할 수 있는 축산 기반 구축에 기여. ○ 축사 냄새 감소 효과로 냄새 민원 감소에 따른 사회 경제적 비용 절감 및 축산 현장과 공감하는 상호 네트워크 구축에 기여. ○ 축산악취 관련하여 축산농가의 시설형편, 주변 여건 등을 종합적으로 판단하여 적극적이고 신속한 관리를 실시하여 시민의 불만을 해소에 기여. ○ 축산용 미생물 (보조사료제, 냄새저감제 등)의 기능성 향상을 통한 국내 축산용 미생물 수입시장 대체 효과를 기대할 수 있음. ○ 축산업, 생명공학산업 등의 관련 분야 활성화 및 인력양성 효과를 기대할 수 있음.
--	---

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	○ 해당없음
--------------------	--------

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
4		4(3)										

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
	CIALM	무균작업대	HK-LVC90N	1	2018.06.04.	2,750,000	031-353-6437	공동기기실	NFEC-2022-02-276465
	CIALM	고압멸균기	VS-1321-100	1	2018.06.04.	2,420,000	031-353-6437	공동기기실	NFEC-2022-02-276464

국문핵심어 (5개 이내)	축산악취	악취저감	미생물	복합미생물	매뉴얼
영문핵심어 (5개 이내)	Odor	Odor treatment	Micro-organism	Microbial complex	Manual

< 목 차 >

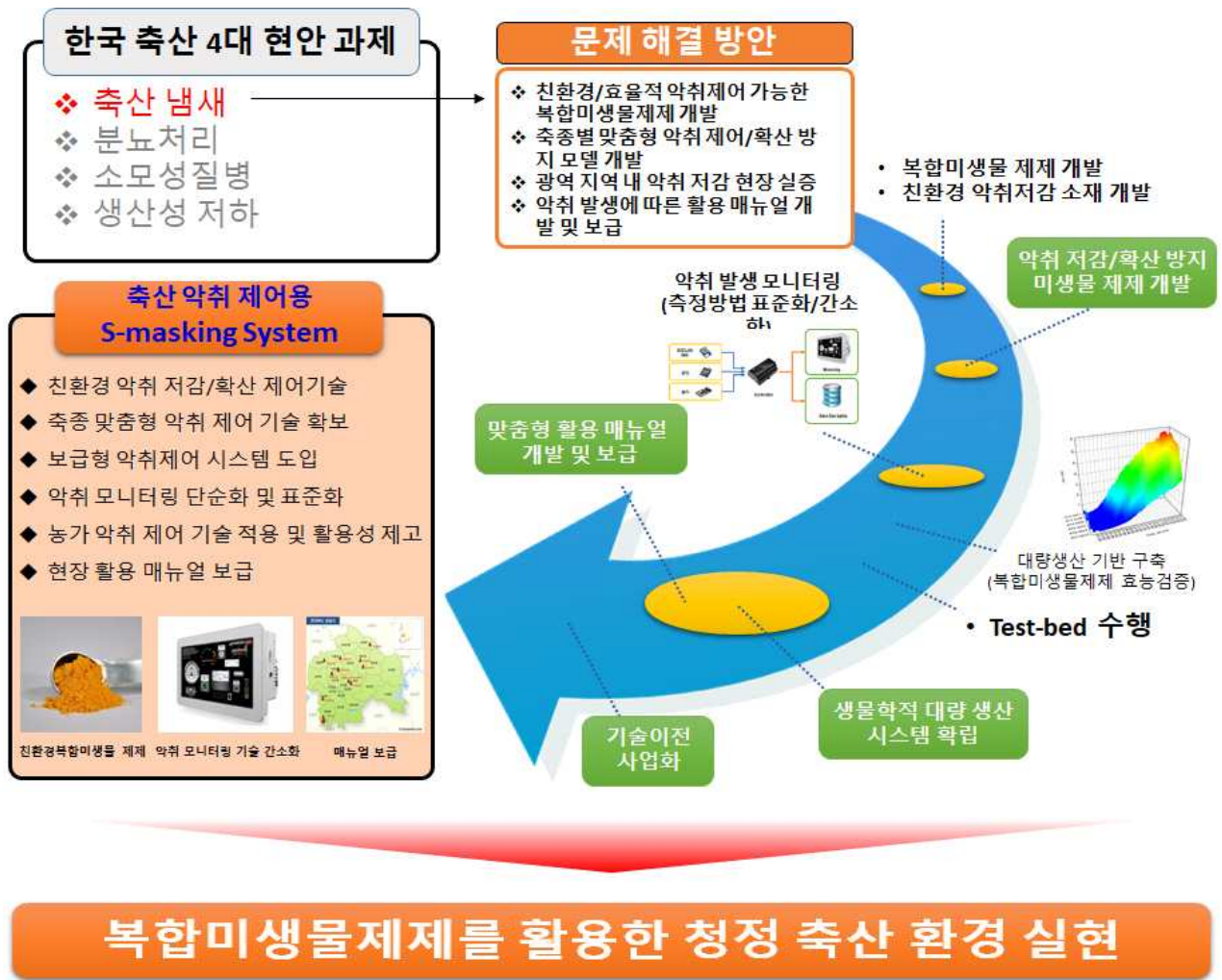
1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발의 필요성

- 축산악취문제는 한국 축산 현안 4대 과제로서 국가적 차원에서 최우선으로 해결해야할 사회적 문제로 대두됨에 따라 축산악취 제어를 위한 기술개발, 농가 개선 노력, 정부 및 지자체의 정책수행 등 축산 악취 해결을 위한 종합적인 대책 요구됨
- 정부, 지자체 및 축산 농가에서는 악취발생을 최소화하기 위하여 다양한 시도를 해왔으나, 대체적으로 냄새 발생 원인에 대한 규명, 냄새저감 기술의 표준화된 사용법등을 제공하지 못한 채 축산현장에 적용함으로써 실제 냄새저감 효율 및 성능을 가시화 못하는 문제점을 반복해 온 실정임
- 본 연구에서는 이런 문제점을 해결하기 위해서 축산 현장에서 발생하는 주요 악취 물질들의 정량적/정성적 분석, 악취기여도에 대한 표준을 마련하고자 함
- 이와 더불어, 국내에서 활용 중인 미생물제제에 대한 성능개선 기술을 개발하고, 특히 **축산 현장에서 효율적인 활용을 위해 현장 실증을 수행함으로써 표준화된 활용매뉴얼 개발을 최종목표함**
- 이를 통해 실용적이고, 경제적인 축산 악취저감 기술을 개발하고 표준 매뉴얼 보급을 통해 축산 농가 등 생산자의 자발적 친환경축산 경영을 유도함으로써 사회적 농업시대에 기여하고자함



(1) 축산 악취 피해 현황

- 2000년대 이후 국민 소득수준의 향상과 더불어 삶의 질적 수준 향상에 대한 요구가 증대됨에 따라 악취 관련 민원의 발생이 지속적으로 증가되고 있는 추세임
- 한국환경공단 악취 민원 조사결과(2016)에 따르면 총 15,573건의 악취발생 민원 중 약 30%가 축산시설에 의한 악취 민원이 가장 높은 수준으로 조사됨



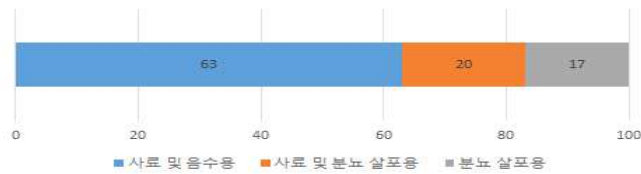
그림 1. 축산악취 민원발생 현황 (한국환경공간, 2016)

- 축산현장 (축사, 양돈, 가금 등)의 냄새, 분뇨처리, 소모성 질병, 생산성 저하는 최우선으로 해결해야 할 한국 축산 4대 현안과제로 대두됨. 특히, 냄새 및 분뇨 처리 문제는 국민들에게 축산업에 대한 부정적 시각이 고착화되고 있으며, 이로 인한 지속가능한 축산의 한계 상황이 노출되고 있는 실정임

표 1. 축산 악취로 인한 사회적·경제적 피해 발생 현황

구분	내용	지역	비고
2013.8.	축산 악취로 인한 양돈 농가 이전 추진	전북 익산-왕궁	
2014.1.	축사 악취로 인한 재산 및 정신적 피해 분쟁	충남 공주	중앙환경 분쟁위원회
2017.7.	신축 축사 추진으로 악취 피해주민 반발	충남 금산	
2017.	축산 분뇨 불법 매립으로 인한 주민 피해	제주	
2018.	인구감소 가장 큰 원인으로 악취문제	경기-동두천	중부일보

냄새 저감제 이용현황 (%)



냄새 저감제 구성비율 (%)



그림 2. 냄새 저감제 이용현황 및 구성비

- 축산 냄새의 대부분은 양돈농가와 분뇨처리장의 규모화가 주요 원인이며, 전국규모 축산 1~2위인 정읍시는 끊임없이 민원으로 어려움을 겪고 있음.
- [정읍신문, 2017] 축산냄새 문제해결 위해 균형 있는 점검·비판이 필요하다. 우수 사례발굴이 필요하다
- [전북일보, 2017] 정읍시민 축산냄새로 고통...'전국 제2 축산도시' 무색. 신태인읍 천단 포도마을 환불

표 2. 국내 양돈 농가 악취 발생 물질 현황 (대한한돈협회, 2016)

구 분	암모니아 (ppm)	활화수소 (ppm)	회석배수 (배) (법적기준)	악취강도 (O) (휴대용 측정기)
상위 10%	4.45	0.069	148	2.7
상위 30%	7.17	0.098	303	5.5
평 균	20.51	0.480	1,169	21.1
하위 30%	37.68	1.061	2,422	43.7
하위 10%	52.81	1.834	3,552	64.1
악취관리 기준 (한돈협회)	20.00	0.5	1,000	20

- 축산농장 중에서 양돈장에서 발생하는 냄새물질 농도가 매우 높음.
- 2016년 (사)대한한돈협회는 양돈장 100여개 대상으로 냄새물질 농도를 조사한 결과, 암모니아 농도는 평균 20ppm, 하위 30% 38ppm으로 매우 심각함.

(3) 친환경 복합미생물제제 개발의 필요성

- 환경처리용 미생물제제의 국내 시장 규모는 매년 약 10%의 고성장률을 보이고 있으며 규모는 약 1,500억 원으로 추정됨(농림축산식품부, 2013)
- 현재 유기합성 화학제제의 무차별한 남용으로 인해 지하수 오염 및 토양오염 등의 중독 상태가 증가됨으로써 농축수산물들의 잔류독성이 증가하고 생태계의 환경파괴가 야기됨
- 내성이 없고, 친환경적이면서도 성장 촉진 효과가 있는 항생제 대체 소재를 개발하기 위한 연구가 많이 진행되어지며, 항균 펩타이드, 호르몬, 효소제, 허브 및 천연식물, 유기산 등이 이러한 환경 친화적인 소재로 연구·개발되고 있고 그중에서도 생균제와 박테리오파지와 같은 미생물 소재가 가장 큰 주목을 받고 있음
- 개발되어진 미생물제제의 효과/효능과 관련해서 기존 미생물제제에 명시된 효과 대비 실제 효과가 떨어진다는 점과 효과의 지속성이 약한 실정이고, 보관/저장과 관련해서는 변질이 잘되며, 보관이 길어지면 효과가 떨어진다는 점 등의 애로사항이 존재
- 축산 약취에 대한 대책으로는 물리적/화학적 방법 등의 방법이 있으나 약취를 유발하는 원인 성분이 매우 다양하여 이를 제어하기 위한 장치형의 시설은 비효율적임
- 국내 축산 농가에 경제성 및 고효율 약취물질 저감 효능을 갖는 복합미생물제제에 대한 연구 및 보급이 반드시 필요함.
- 폐해조류를 활용한 약취저감제제 개발

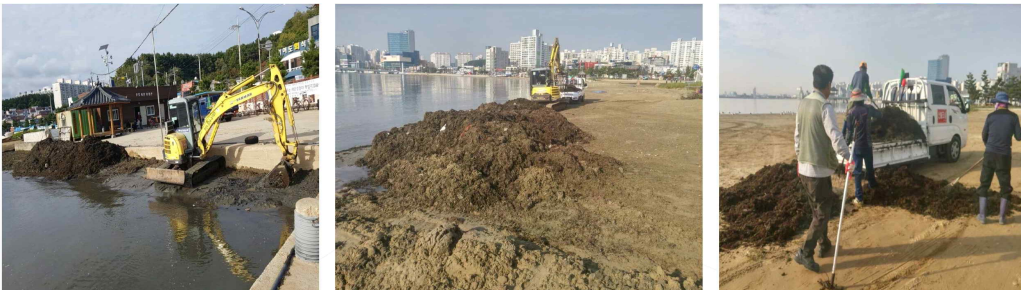


(1) 발생량 및 면적

- 발생 면적 및 발생량: 138ha, 10,000톤~12,000톤/년
- 연도별 수거량 및 수거 비용

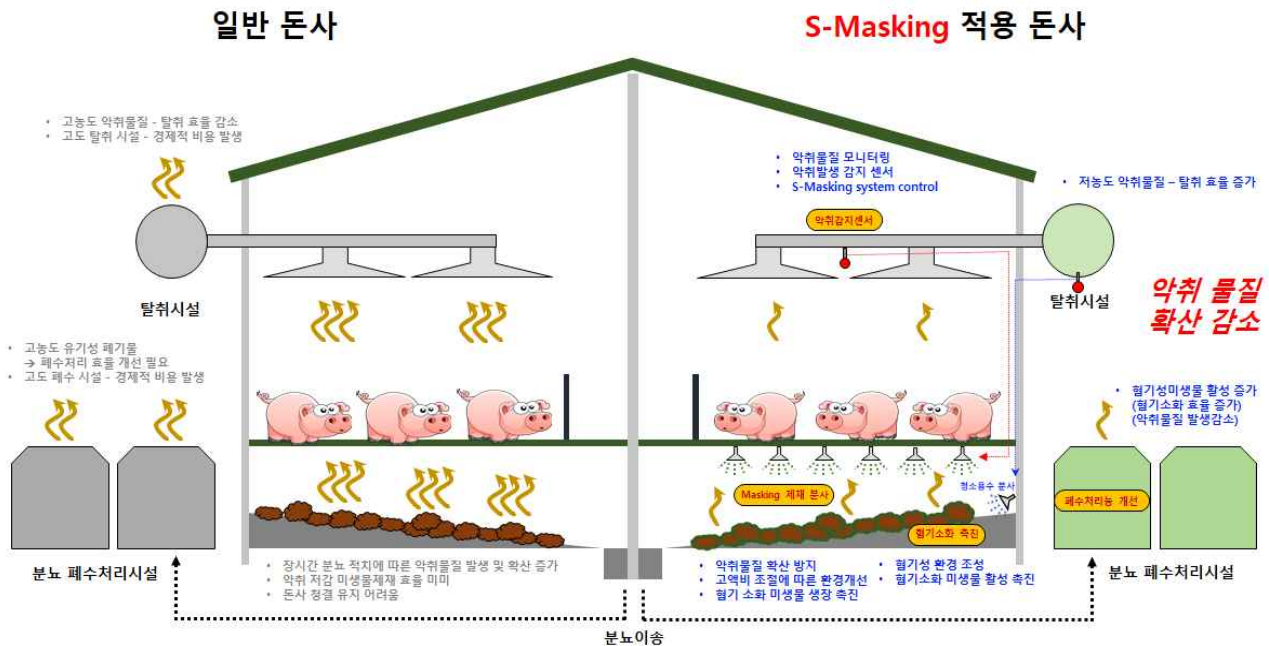
구분	계	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
수거량(톤)	16,202	1,730	1,875	2,351	1,223	2,773	2,750	3,500
수거 비용(백만원)	673	88	80	80	230	57	58	80

- 처리방법 : 행정에서 수거한 갈파래류는 농가 퇴비용으로 무상제공



- “지난달 25일께 처음 발견된 해조류는 이달 초 급격히 불어 인천지방해양수산청과 해양환경관리공단이 12일까지 50t가량을 수거했다.” (인천-연합뉴스 2017)
- “최근 제주도 해안에는 갈파래와 갯생이모자반 등의 해조류가 대량으로 발생해 지역의 굴치거리가 되고 있다. 갈파래는 한해 1만 톤, 갯생이모자반은 8000톤이 발생해 해안에서 악취를 풍기거나 양식장을 덮쳐 경제적 피해를 주고 있음. 또한 수거비용만 연간 20억원에 이룸. 1만 2000톤의 갯생이모자반이 발생한 2015년의 경우 1만3800명의 인력과 굴삭기 180대, 차량 200대가 투입돼 수거작업을 벌였으며, 작년에는 배 스크루에 감긴 갯생이모자반을 떼어내려던 잠수부가 목숨을 잃는 사고까지 벌어졌다.” (디지털타임스 2018, 과학기술 사회혁신포럼)

(1) 복합미생물제제를 활용한 통합형 축산악취제어 시스템(S-masking system) 개발



본 연구과제에서는 축산 악취 제어용 친환경 소재 및 미생물 소재 개발, 축산 악취 통합제어용 S-Masking 시스템 설계, 현장 적용 및 평가, 축사 외부 환경 및 폐수처리 영향 평가 등을 토대로 환경친화적인 축산 악취 모델을 구축하며, 센싱 및 악취 제어 알고리즘을 적용함으로써 스마트 악취제어 기술을 개발하고자 한다.

- * **S-Masking 시스템** : Safe, Signification, Stink, Stench, bed Smell-masking 안전하고 효과적인 악취(냄새) 확산 방지 시스템
- ** **Masking(mounting)** : 오염지의 오염물을 일시적으로 코팅하여 발생되는 악취를 액비처리조까지 이송 단계에서 악취물질의 확산을 억제함

2) 연구개발 대상의 국내·외 현황

(1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

가. 기술 및 시장 현황

- 현재 국내에서 활용되고 있는 미생물 기반 약취저감제 기술은 대부분 생균제를 투여함으로써 장내 탄수화물, 단백질 등 영양분의 소화를 촉진함으로써 배출되는 분뇨의 특성을 제어하기 위한 기술임.
- 냄새 원인물질을 직접 제어 또는 저감시키는 미생물 제제는 광합성세균, 고초균 등의 일부 균주가 활용되어지고 있음.
- 보관 및 활용 방법의 표준화가 이루어지지 않아 실제 효능/효과가 낮게 나타남
- 현재까지 독립된 약취저감제 시장은 형성되지 않고 있음.
- 미생물제제 내 약취저감제 시장 규모는 10~20% 정도로 파악되고 있음.
- 2007년부터 집계 가능한 2010년까지는 400~500억 수준임 (한국바이오협회, 2010 통계)
- 시장규모가 작은 원인으로는 높은 가격, 불안정한 효과 및 한정적인 효과 등으로 분석되고 있음
 - * 실제 미생물제제 사용경험이 있는 농가 대상 설문 결과
 - : 품질 및 효능의 불확실성, 높은 가격, 사용 및 관리 방법의 불편함 등
- 2005년도 기준 보조사료 총 생산량은 5만3천여 톤으로 그중 생균제는 1만 5천 톤, 전체 생산량의 약 20%를 차지,
- 2006년도 기준 보조사료 총생산량은 3만 6천 톤이며, 생균제는 약 6.7천 톤을 생산
- 2009년 한국 동물 약품 협회의 자료에는 전체 동물약품 중 사료첨가제의 비중은 28.5%로 3억 달러의 세계시장을 점유하며 동물 약품 비중이 가장 큼.
- 2011년 7월부터 항생제 금지조치에 따른 대체 품목인 생균제 시장의 주목으로 생균제 시장이 보조사료 17여개의 보조사료 중 44%를 차지함.

나. 기업 및 기타 현황

- 국내 제조업체로는 제일바이오, 이지바이오, CTC바이오, 선바이오, 진바이오텍, 우진비앤지, 신한바이오켐, 한동 등 다양한 중소중견업체로 구성되어 있으며, 수입제품으로는 Bio-Plus 2B(Chr. Hansen, Denmark), Saltose(PIC-Bio, Japan) 등이 있음
- 사용되는 균주로는 유통 중 저장 안정성의 장점을 가지고 있는 바실러스 균주가 많이 사용되고 있으며, 생균제적 효능이 우수한 유산균이나 효모 등이 단독 또는 혼합제제 형태로 사용되고 있음
- 국내에는 수입품인 Diamond사 제품이 가장 많이 판매되고 있고, 국내제품인 경우 단순 효모제(프로바이오텍스)인 이지바이오(이스처), 제일바이오(사카로컬처)등이 판매되고 있는 실정임
- 전체 국내 동물용의약품의 판매 시장규모는 2011년 5,800억원으로, 2012년에는 5,837억원으로 이 가운데 사료첨가제가 12% 정도를 차지하는 것으로 파악됨(약업신문 2014)
- 동물약품 형태로 판매되고 있는 생균제 시장규모는 약 770억원 규모에 달함(주문용 사료첨가제의 15%로 추산)
- 이 외에도 국내 140여개의 농업기술센터에서 생산하는 생균제 규모는 700억원 정도로

추산되고 있음(센터당 5억원 기준)

- 상기의 시장을 종합할 경우, 동물자원 프로바이오틱스의 시장규모는 12,000억원(2014년 기준)으로 추정되며, 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

세계 시장	국내 시장																																																						
<ul style="list-style-type: none"> ☞ 2010년 USD 8,560억\$ ☞ 메모리반도체 시장의 20배 ☞ 2014년 USD 1.1조\$ 예상 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 2010년 19.1조원(생산+수입-수입) ☞ 세계시장의 1.9%, 점유비 증가 추세 ☞ 북미 42.3%, 유럽 29.2%, 일본10.8% 																																																						
<p>IMS Health Market Prognosis, Mar, 20(단위 : billion \$)</p> <table border="1"> <caption>IMS Health Market Prognosis (2002-2010)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Market Size (billion \$)</th> <th>YoY Growth (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2002</td><td>515</td><td>9.1%</td></tr> <tr><td>2003</td><td>562</td><td>9.1%</td></tr> <tr><td>2004</td><td>605</td><td>7.7%</td></tr> <tr><td>2005</td><td>650</td><td>7.3%</td></tr> <tr><td>2006</td><td>694</td><td>6.8%</td></tr> <tr><td>2007</td><td>742</td><td>6.9%</td></tr> <tr><td>2008</td><td>782</td><td>5.3%</td></tr> <tr><td>2009</td><td>837</td><td>7.0%</td></tr> <tr><td>2010</td><td>856</td><td>2.2%</td></tr> </tbody> </table>	Year	Market Size (billion \$)	YoY Growth (%)	2002	515	9.1%	2003	562	9.1%	2004	605	7.7%	2005	650	7.3%	2006	694	6.8%	2007	742	6.9%	2008	782	5.3%	2009	837	7.0%	2010	856	2.2%	<p>KFDA, Jun, 2010 (단위 : 억원)</p> <table border="1"> <caption>KFDA Market Data (2004-2010)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Market Size (billion won)</th> <th>YoY Growth (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2004</td><td>114,530</td><td>9.1</td></tr> <tr><td>2005</td><td>126,220</td><td>10.2</td></tr> <tr><td>2006</td><td>140,707</td><td>11.5</td></tr> <tr><td>2007</td><td>152,635</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>2008</td><td>171,854</td><td>12.7</td></tr> <tr><td>2009</td><td>182,199</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>2010</td><td>191,437</td><td>5.1</td></tr> </tbody> </table>	Year	Market Size (billion won)	YoY Growth (%)	2004	114,530	9.1	2005	126,220	10.2	2006	140,707	11.5	2007	152,635	8.5	2008	171,854	12.7	2009	182,199	6.0	2010	191,437	5.1
Year	Market Size (billion \$)	YoY Growth (%)																																																					
2002	515	9.1%																																																					
2003	562	9.1%																																																					
2004	605	7.7%																																																					
2005	650	7.3%																																																					
2006	694	6.8%																																																					
2007	742	6.9%																																																					
2008	782	5.3%																																																					
2009	837	7.0%																																																					
2010	856	2.2%																																																					
Year	Market Size (billion won)	YoY Growth (%)																																																					
2004	114,530	9.1																																																					
2005	126,220	10.2																																																					
2006	140,707	11.5																																																					
2007	152,635	8.5																																																					
2008	171,854	12.7																																																					
2009	182,199	6.0																																																					
2010	191,437	5.1																																																					

(2) 국외 기술 수준 및 시장 현황

가. 기술 및 시장 현황

- 미국· 유럽을 비롯한 호주(Greenhouse Office, 2001), 미국에서는 친환경 사료 첨가제를 생산하기 위한 연구가 진행되어지고 있음(Newbold, 2006).
- 전체 국내 동물용의약품 판매시장규모는 세계시장의 1/40 수준. 세계동물용의약품 시장은 2012년 225억 달러 시장을 형성하고 있으며, 이 가운데 사료첨가제가 12% 정도를 차지하는 것으로 파악됨(약업신문 2014.6.4.)
- 미국의 한 연구보고서에 의하면 성장촉진용 항생제금지가 실시되면서 시행첫해에 두당 약 4.50\$의 생산비용이 증가되는 것으로 보고됨.
- 비용증가 요인을 살펴보면, 육성비육 단계에서 두당 1.05\$, 이유단계에서 두당 1.25\$, 치료비용 증가 두당 0.25\$, 백신비용 두당 0.75\$, 품질저하 비용 두당 0.65\$, 추가 투자자본 비용 두당 0.55\$의 추가비용이 예상됨 (Dermot J Hayes and Helen H. Jensen 2003).
- 국내에서도 2012년 항생제 사용이 전면 금지됨에 따라 효과적인 항생제 대체제의 개발은 농가의 생산성 확보 및 식품의 안전성 측면에서도 중요한 과제임.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발의 목표 및 내용

(1) 최종목표

- 축산 농가에서 발생하는 악취물질을 효과적으로 제어/저감시킬 수 있는 복합미생물제제 및 친환경/천연물제제 개발
- 광역 지역 내 악취발생 농가의 악취 발생 제어/저감 기술 보급 및 현장실증
- 축산 악취 발생 대응 및 복합미생물제제 활용방법 매뉴얼 개발 및 현장 보급

(2) 세부목표

- 축산 악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 악취 물질 제어/저감 성능 개선
 - 악취 제어 및 저감 효능 미생물 개발 (미생물 3종)
 - 친환경/천연물 악취저감 제제 개발 (천연물 2종)
 - 악취물질 제어용 복합미생물제제 생산 최적화
 - 복합미생물제제 대량생산 공정 개발 (연간 100톤 이상 생산 공정 개발)
- 미생물 기반 축산 농가 내·외부 발생 악취 물질 분석
 - 축산 농가 발생 악취물질 발생현황 모니터링 (계절, 사육두수 등에 따른 영향 조사)
 - 축산 농가/축종 맞춤 보급형 모니터링 시스템 개발
 - 축산 악취 실시간 모니터링 및 데이터베이스 구축
 - 축종별 악취저감 복합미생물제제 최적화
- 맞춤형 악취물질 제어/저감 및 확산 방지 시스템(S-Masking) 개발
 - S-Masking 시스템 설계 및 시제품 제작
 - 축종별 악취 제어/저감 복합미생물제제 적용
 - 폐해조류를 이용한 복합미생물제제 개발 및 효능검증
- 축산 농가 S-masking 시스템 현장 실증 및 악취 확산 모니터링
 - 보급형 악취저감 시스템 현장 도입 (2개 농가)
 - 축산 농가 밀집 지역 내 악취 민원 발생 모니터링 및 악취저감 기술 적용 효과 분석
- 축산 악취제어용 복합미생물제제 활용 매뉴얼 개발 및 보급
 - 축종별 복합미생물제제 활용방법 매뉴얼 개발
 - 농가 현장적용 및 악취 민원 발생 현황 정밀 분석

2) 연구개발의 수행과정 및 수행내용

(1) 축산 악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 악취 물질 제어/저감 성능 개선

가. 축산 악취 제어 미생물 선발 및 효능 검증

○ 축산 악취제어 미생물 선발

- 축산 악취의 근본적인 문제 해결을 위한 미생물 제제의 활용은 크게 두 가지 접근으로 나눌 수 있음
- 먼저, 생균제를 사료와 함께 직접 투여하여 소화 흡수율을 높여 분뇨 부산물 발생을 줄이고, 소화 중 장내에서 발생하는 악취 원인 물질을 억제하여 점진적으로 축산 악취저감 및 상업용 동물의 비육도와 육질을 높이는 접근이 있음
- 다른 하나는 축사 및 분뇨 퇴액비 부숙고에 미생물 제제를 분사하거나 혼합하여 악취 원인 물질을 직접적으로 저해하는 방법임
- 이러한 접근은 온도, 습도, 바람 등의 환경적 요인의 변동에 따라 축사 인근 주민 생활권으로 확산되는 악취물질을 실시간으로 제어가 가능함
- 또한, 불완전 소화된 사료 등 부산물이 포함된 분뇨의 발효가 잘 진행되도록 도와 퇴비화 과정을 보조하며 이 과정에서 생성되는 악취 물질의 효과적인 제어가 가능함
- 본 연구에서는 미생물 제제로 이용 가능한 미생물 종에 대한 분석을 실시하고, 선별하여 복합미생물제제 개발의 기반을 마련함
- 미생물제제의 대표적인 미생물종의 특성은 다음과 같음
- 유산균 *Lactobacillus* sp. 는 다양한 기질을 통해 유해균을 억제하고 넓은 범위의 항진균 및 항세균 활성을 지님
- 또한 산성 pH 환경 조성 및 bacteriocin과 같은 항균물질 분비를 통해 유해균의 성장을 저지함
- 고초균 *Bacillus* sp. 는 α -amylase와 protease 생산능력이 뛰어날 뿐만 아니라 dipicolinic acid와 같은 항균물질을 생성하며, 포자를 형성하기 때문에 극한 환경에서 생존율이 우수함
- *B. subtilis* 는 요소성 질소 감소에도 효과적으로 작용하여 분뇨 내의 암모니아 발생량을 감소시키는 것으로 알려져 있으며 *B. licheniformis* 는 단백질 가수분해 저항성을 지니며 항균능과 열 안정성이 높음
- *Clostridium* sp. 는 산과 알칼리 조건에 대한 저항성이 강하여 유해균과 경쟁적인 극한 환경에서 생존율이 뛰어나 악취 저감에 적용 가능함

표 3. 선별된 미생물 목록 및 KCTC 균주관리 번호

No.	Strain	KCTC No.
1	<i>Bacillus subtilis</i>	KCTC 3135
2	<i>Thiobacillus</i> sp.	KCTC 2874
3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	KCTC 7296

- *Saccharomyces cerevisiae*는 질소계열의 지방족 유기화합물인 Trimethylamine 저감에 관한 많은 연구가 진행된 균주임에 따라 본 연구에 활용함
- Trimethylamine은 주요 냄새 성분 지표로 활용됨
- 본 연구에서는 고초균(*Bacillus subtilis*) 유산균(*Lactobacillus* sp.)과 같이 악취 제어 효과가 잘 알려진 미생물종과 황산화균(*Thiobacillus* sp.), 그리고 발효산업 여러 분야에 활용되는 효모(*Saccharomyces cerevisiae*)를 연구 대상 균주로 선정하였음
- 각 미생물은 생물자원센터(KCTC, Korean Collection for Type Cultures) 에서 분양 받아 배양 하였고, 대표적 악취 표준물질인 암모니아, 황화수소, 아민에 대한 저감 효과를 평가함(표3)

○ 미생물제제의 악취저감 효능검증

- 각 미생물 배양은 생물자원센터에서 명시한 표준 영양배지와 배양조건을 이용함
- 고초균, 황산화균 배양에는 Luria-Bertani (LB) 배지를, 효모는 yeast extract peptone dextrose (YPD) 배지를 사용하였고, 고초균, 황산화균은 37°C에서, 효모는 32°C에서 배양하였음
- 각 균은 고체 배지에서 긁어주어 단일 콜로니(균집) 단위로 분리하였고, 각 균의 표현형질이 확인된 균체의 개체수를 늘리기 위하여 액체 배지에 접종함
- 각 배양 조건으로 밤샘 배양하여 전배양 한 후, 본배양 부피의 1%가 되도록 접종함
- 이때, 5L 배양기를 이용한 대량 배양을 위하여 전배양은 3ml에서 30ml 배양액 부피로 2회에 걸쳐 점진적으로 부피를 올렸음
- 총균체수를 확인하기 위하여 각 미생물 배양액을 멸균수에 10⁻¹씩 희석하여 1에서 10⁻¹⁰ 수준으로 각 희석배수를 준비함
- 희석배수 10⁻⁴에서 10⁻¹⁰까지의 균체를 각각 100 ul 씩 고체배지에 도말 한 후 각 배양 조건으로 24시간에서 48시간까지 배양하여 형성되는 콜로니의 수를 확인함 (그림 3)

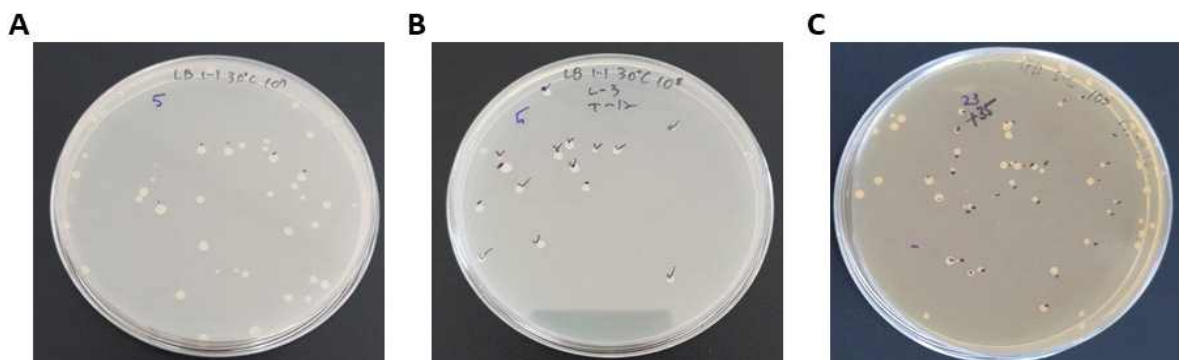


그림 3. 악취물질 저감 능력 평가 연구에 사용된 미생물. 각 미생물제제를 정량적으로 고체배지에 배양하여 실제 생균수를 측정함 (A) *Bacillus subtilis*, (B) *Thiobacillus* sp. (C) *Saccharomyces cerevisiae*

- 각 미생물의 배양액 원액에서 고초균은 1.2×10^9 CFU/ml, 황산화균은 2.2×10^9 CFU/ml, 효모는 6.7×10^7 CFU/ml가 각각 확인되었고, 균종에 따른 상대적 약취저감 효능을 검증하기 위하여 각 미생물을 1.0×10^7 CFU/ml 수준으로 동일하게 균체수를 맞춰서 연구에 이용함
- 축산 약취원으로 정읍 소재 돈사에서 직접 채취한 돼지 분뇨를 사용하였으며 각 미생물 농도(생균수)에 따른 효과도 검증하기 위하여 전체 부피의 0%, 0.5%, 1%, 2% 로 연구를 진행함



그림 4. 약취물질 저감 능력 평가 연구. 미생물제제를 이용한 돼지 분뇨에서 발생하는 약취물질 저감 효과를 측정하기 위하여 반응조를 제작하여 활용함. 상부의 호스를 통해 반응조 상층부의 공기에 포함된 약취 물질을 측정함 (A) 1리터 반응조 (B) 항온수조에서 반응 시키는 모습

- 1리터 부피의 반응 용기에 돼지 분뇨(200 ml) 와 각 미생물제제를 농도별로 첨가 한 후 멸균수를 추가하여 최종 부피를 500 ml로 동일하게 함 (그림 4)
- 분뇨와 미생물제제를 충분히 혼합 후 25°C 조건에서 정치하여 24시간, 48시간 반응에 따른 약취 표준물질(암모니아, 아민) 농도 변화를 측정함 (GV-110 GASTEC, Japan)

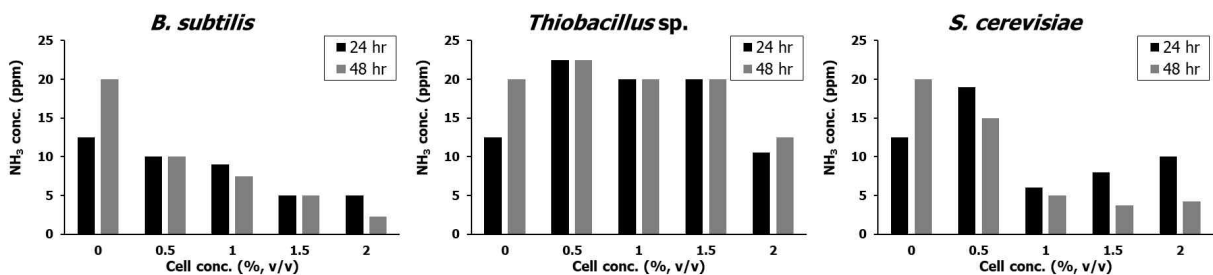


그림 5. 돼지 분뇨의 약취 원인물질 암모니아에 대한 미생물제제의 저감 효과. 24시간, 48시간 반응 조건에서 각 미생물제제에 의한 암모니아 저감 효과를 측정함

- 돼지 분뇨에서 발생하는 약취 원인물질 암모니아에 대한 각 미생물의 저감 효과를 측정한 결과, 고초균이 매우 뛰어난 효능을 보여 0.5% 처리만으로도 24시간 저감 효과를 보여 주었고, 48시간이후에도 암모니아 농도가 유지되는 즉, 분뇨로부터 암모니아 생성이 늘어

나지 않도록 제어되는 효과를 확인함 (그림 5)

- 효모의 경우 1% 농도 이상에서 효과적이었으며, 황산화균은 2% 이상 처리가 요구됨

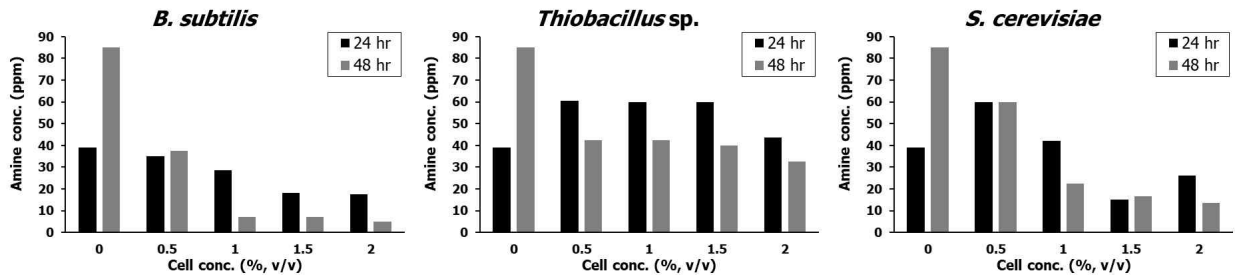


그림 6. 돼지 분뇨의 악취 원인물질 아민에 대한 미생물제제의 저감 효과. 24시간, 48시간 반응 조건에서 각 미생물제제에 의한 아민 저감 효과를 측정함

- 돼지 분뇨에서 발생하는 악취 원인물질 아민에 대한 각 미생물의 저감효능을 측정한 결과, 모든 미생물제제에서 48시간 이후 효과가 확인됨 (그림 6)
- 고초균의 경우, 24시간 반응에서 큰 효과가 나타나지 않았지만, 48시간 후 미생물제제를 미처리한 대조군(0%)에서는 아민 농도가 2배가량 증감되었으나 미생물제제를 처리한 실험군에서는 아민 농도가 유지되었으며 미생물제제 농도가 높을수록 급격히 저감되는 효과를 보여줌
- 황산화균의 경우, 24시간 반응 후 아민 농도가 증가되다가 48시간 경과 시점에는 저감되는 효과를 보여줌
- 효모의 경우, 상대적으로 고초균과 황산화균의 경향을 모두 수렴한 악취 저감효능을 보여줌

나. 친환경 복합미생물제제 후보 선발 및 악취저감 효능 시험

○ 복합미생물제제의 효능 평가

- 미생물은 서로 다른 메커니즘으로 악취 원인물질을 제어하며 효능도 차이가 있음
- 본 연구에서는 악취 물질 제어 미생물을 혼용하여 악취 저감 능력을 보다 효율적으로 증진시키기 위한 연구를 수행함
- 앞선 연구에서 증명된 악취 저감 미생물 고초균, 효모, 황산화균을 혼합한 복합미생물제제를 제작하여 연구에 활용함
- 준비된 복합미생물제제의 효능 평가 연구는 상기 단일 미생물의 결과를 참고하여 진행하였으며 연구 방법 또한 동일하게 수행함
- 농장에서 직접 제공받은 돼지 분뇨 200 ml과 각 농도의 복합미생물제제를 혼합하고 멸균수로 최종 부피 500 ml을 동일하게 맞춰서 진행함
- 최적 효능을 유도하기 위하여 각 미생물의 혼합비를 1~2%까지 다양하게 조율하여 복합미생물제제를 제작함
- 미생물 제제 최적 혼합비를 도출하기 위하여 먼저, 단일 미생물 효능 평가에서 효과가

뛰어났던 고초균과 효모를 먼저 혼합하여 연구를 수행함

- 각 경우의 수에 맞춰서 준비된 복합미생물제제 실험군은 항온조(25°C)에서 반응을 진행하며 반응 24시간, 48시간 후 각각 잔존하는 암모니아와 아민의 농도를 측정함
- 고초균과 효모의 각 혼합비에 대한 실험군은 표 4과 같이 분류하였음

표 4. 복합미생물제제 최적화를 위한 2종 약취저감 미생물 혼합비 목록

	Strain	Amount utilized (% v/v)
A	<i>Bacillus subtilis</i>	1
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1
B	<i>Bacillus subtilis</i>	1.5
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.5
C	<i>Bacillus subtilis</i>	2
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2
D	<i>Bacillus subtilis</i>	2
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.5

- 약취 저감 대상으로 사용된 돼지 분뇨는 정읍 관내 농장에서 직접 채취하여 바로 암조건의 저온고(4°C)에 보관하였으나 보관 기간에 따라 약취 정도의 변동이 발생됨에 따라 주기적으로 새로운 시료를 공수하여 사용함
- 복합미생물제제가 미처리된 대조군은 24시간 반응 경과 후 암모니아가 약 10 ppm, 아민이 약 34 ppm 농도로 측정되었으며 48시간 경과후에는 각각 약 20 ppm, 약 90 ppm으로 증가되는 경향을 보여줌
- 복합미생물이 처리된 실험군 A, B, C, 그리고 D의 경우, 모두 암모니아와 아민의 농도가 24시간 반응에서 50% 이상 낮은 수치를 보여주었으며 반응 48 시간 후에는 두 물질의 농도가 유지되거나 약소하게 감소되는 경향을 보여줌

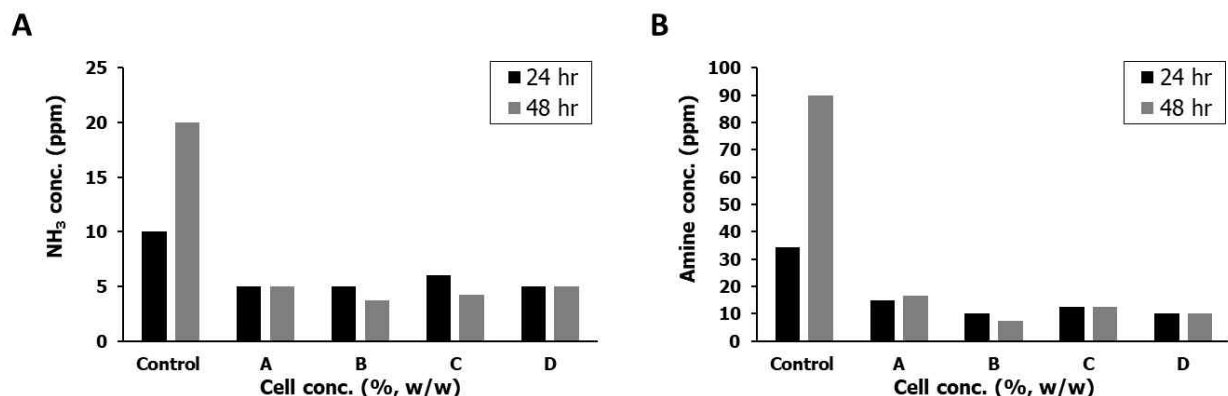


그림 7. 2종 미생물이 혼합된 복합미생물제제의 약취저감 효능 평가. 고초균과 효모를 다양한 혼합비로 혼용하여 약취 저감 정도를 평가함

- 단일 미생물 처리시에는 48시간 경과에서 약취 원인 물질 감소의 효과가 뚜렷하게 관찰되는

반면 복합미생물제제 적용시 24시간 이전부터 효과가 나타나는 것으로 확인 함

- 이어서 황산화균을 추가하여 3종의 미생물 제제가 혼합된 복합미생물을 제제하였으며 연구 결과에 정리된 각 실험군의 혼합비는 표 5와 같음

표 5. 복합미생물제제 최적화를 위한 3종 약취저감 미생물 혼합비 목록

	Strain	Amount utilized (% , v/v)
A	<i>Bacillus subtilis</i>	1.5
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.5
	<i>Thiobacillus sp.</i>	1
B	<i>Bacillus subtilis</i>	1.5
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.5
	<i>Thiobacillus sp.</i>	1.5
C	<i>Bacillus subtilis</i>	1.5
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.5
	<i>Thiobacillus sp.</i>	2

- 고초균과 효모의 혼합비는 1.5%로 고정하였으며 황산화균을 1%, 1.5%, 그리고 2% 씩 각각 다른 농도로 첨가하여 복합미생물을 준비함
- 농장에서 직접 제공받은 돼지 분뇨 200 ml과 각 농도의 복합미생물제제를 혼합하고 멸균수로 최종 부피 500 ml을 동일하게 맞춰서 진행함
- 각 경우의 수에 맞춰서 준비된 복합미생물제제 실험군은 항온조(25℃)에서 반응을 진행하며 반응 24시간, 48시간 후 각각 잔존하는 암모니아와 아민의 농도를 측정함
- 그림 14에서 확인 할 수 있듯이 3종 미생물이 혼합된 복합미생물 또한 뛰어난 약취저감 효능을 보여줌
- 대조군을 100%로 하였을 경우, 24시간 경과 시점에서 암모니아 저감 효율이 실험군 A 30%, 실험군 B 50%, 그리고 실험군 C 50% 로 나타났으며 48시간 반응 시점에서 지속적으로 감소 또는 유지 되는 경향을 보여줌

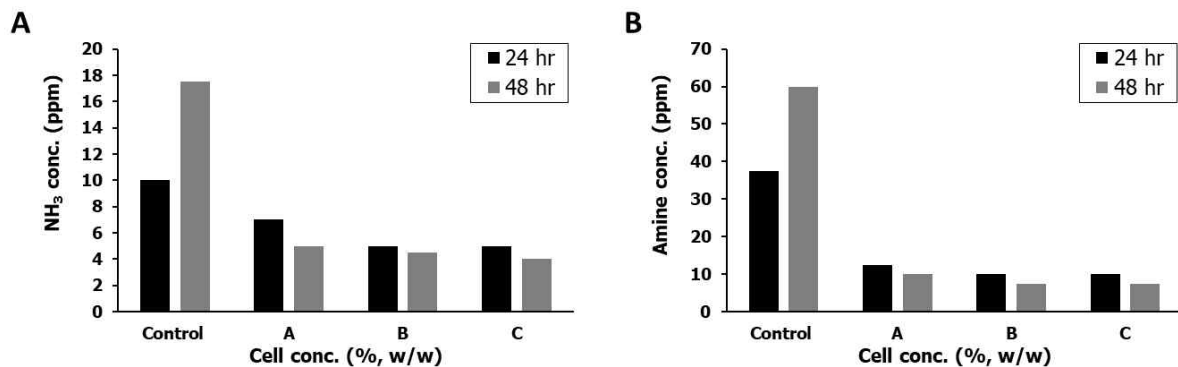


그림 8. 3종 미생물이 혼합된 복합미생물제제의 약취저감 효능 평가. 고초균, 효모, 황산화균을 다양한 혼합비로 혼용하여 약취 저감 정도를 평가함

- 아민 저감과 관련하여서도 대조군 100% 대비 실험군 A 66%, 실험군 B 73%, 그리고 실험군 C 78% 로 나타나 매우 훌륭한 저감 효과를 보여줌
- 연속적으로 48시간 반응 시점에서도 지속적으로 감소 또는 유지 되는 경향을 보여줌
- 단편적인 결과만을 보았을 경우, 단일 미생물로 구성된 미생물제제의 효능과 크게 차이가 없는 수치적 효능으로 판단될 수 있으나 연구 순서상으로 서로 다른 돼지 분뇨 시료가 연구에 사용된 점을 고려할 수 있음
- 돼지 분뇨 시료의 상태는 계절적 요소에 따른 돼지의 축사 환경의 조건이 변동되고 이에 따라 돼지의 건강 및 스트레스 정도에서 발생하는 분뇨 상태의 차이가 있는 점을 고려하여 동일한 돼지 분뇨에 대한 단일 미생물과 복합미생물제제의 효능 차이를 평가함

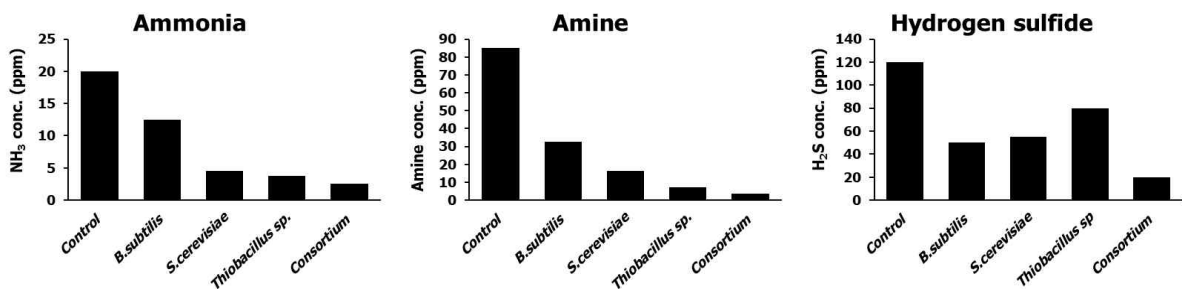


그림 9. 복합미생물제제와 단일 미생물의 악취제어 효능 비교. 동일한 돼지 분뇨 시료를 대상으로 복합미생물제제와 단일 미생물을 각각 처리하였을 경우의 악취물질 저감 정도를 비교함

- 복합미생물제제의 혼합비를 기준으로 각 미생물은 고초균 1.5%, 효모 1.5%, 황산화균 2%를 사용하였음
- 결과적으로, 미생물제제 미처리 대조군 대비 모든 미생물 제제 적용 사례에서 악취물질(암모니아, 아민, 황화수소)의 저감 능력을 확인함
- 특히, 복합미생물을 적용한 실험군이 타 실험군과 대조적으로 모든 악취 물질에 대하여 저감되는 효과를 확인함
- 이어서 복합미생물 제제의 효능 지속성에 대한 연구를 수행함

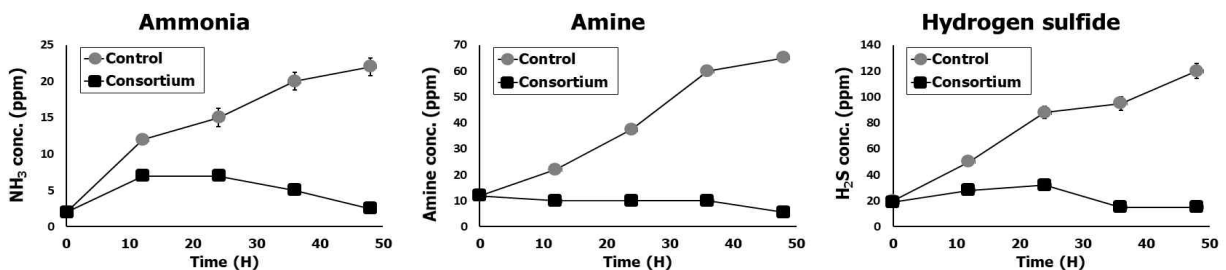


그림 10. 복합미생물제제의 악취제어 지속성 연구. 복합미생물제제 처리 후 장시간동안 악취 물질 농도가 변화되는 과정을 검토함

- 최종 48시간 기준에서 대조군은 암모니아 22 ppm, 아민 65 ppm, 그리고 황화수소

120 ppm이 측정되었으며, 실험군은 암모니아 2.5 ppm, 아민 5.5 ppm, 그리고 황화 수소 15 ppm이 측정 됨

- 결과적으로, 미생물제제가 미처리된 대조군은 시간이 지남에 따라 각 물질이 증가 되는 경향을 보여준 것과 대조적으로 복합미생물제제가 처리된 실험군은 점진적으로 각 물질의 농도가 감소되거나 유지되어 복합미생물제제에 의한 악취물질제어가 효과적으로 진행됨을 확인함

○ 복합미생물제제의 효능에 대한 scale-up 연구

- 현장 실증 연구에 앞서 공간적 부피 인자가 크게 늘어났을 경우, 복합미생물제제의 효능이 정상적으로 작용되는지 검증하기 위하여 15리터 규모의 악취 측정 전용 용기를 제작하여 연구를 수행함
- 정읍시 구면농장에서 확보한 양돈 분뇨 5L를 반응 용기에 넣고, 미생물제제를 처리하여 암모니아 및 아민 농도를 초기(0분), 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간, 48시간, 72시간 간격으로 각각 측정함
- 대조군은 동일한 조건의 미생물 배양액을 투입하지 않고 동일한 조건으로 각 농도를 측정함

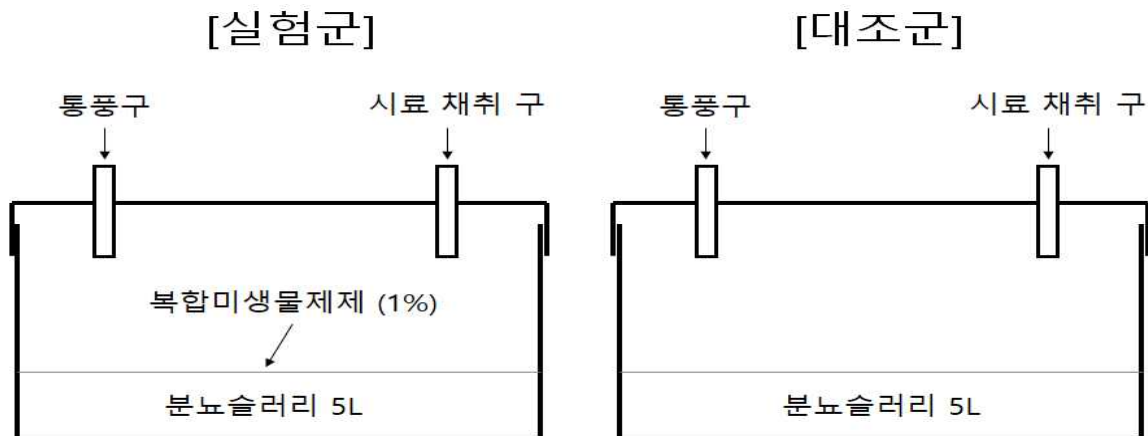


그림 11. 복합미생물제제의 현장 실증 평가를 위한 scale-up 연구. 양돈 농가의 측사를 모방한 15리터 크기의 악취 측정 전용 용기 모식도

- 단일 미생물만 사용하였을 경우, 공간적 인자의 변화에 의해 악취제어 효능이 균에 따라 저해되는 양상이 관찰되는 반면 복합미생물제제를 적용할 경우 암모니아와 아민 모두에 대하여 반응시간 누적됨에 따라 효과적인 제어 효능이 확인됨

표 6. *Bacillus subtilis* 단독처리 결과 (1%, v/v)

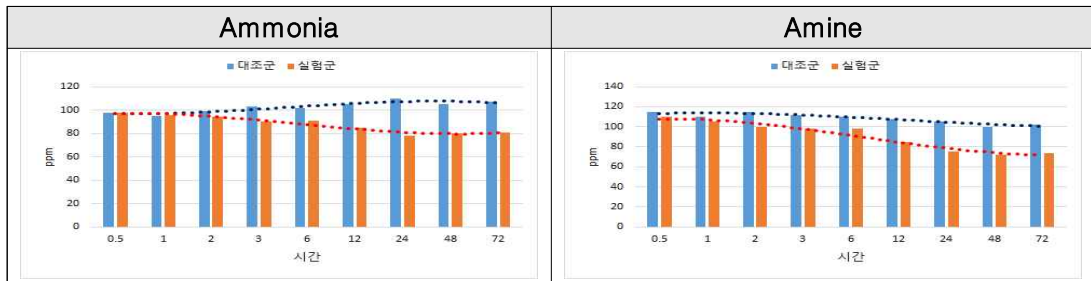


표 7. *Lactobacillus plantarum* 단독처리 결과 (1%, v/v)

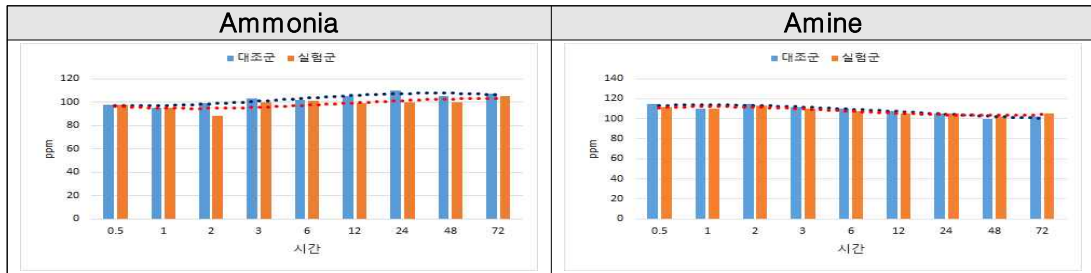


표 8. *Saccharomyces cerevisiae* 단독처리 결과 (1%, v/v)

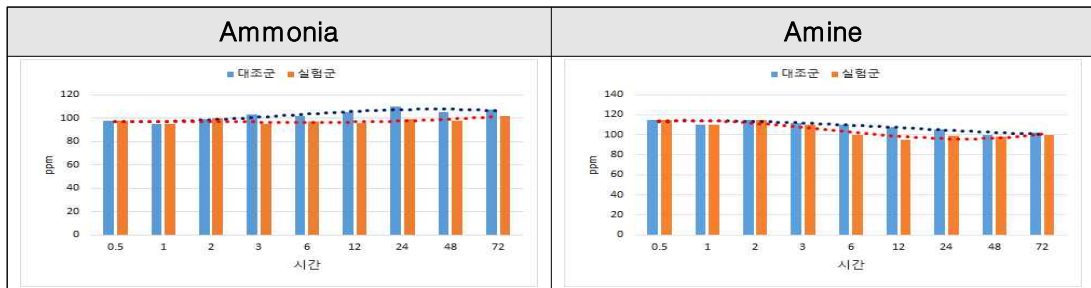


표 9. *Thiobacillus* sp. 단독처리 결과 (1%, v/v)

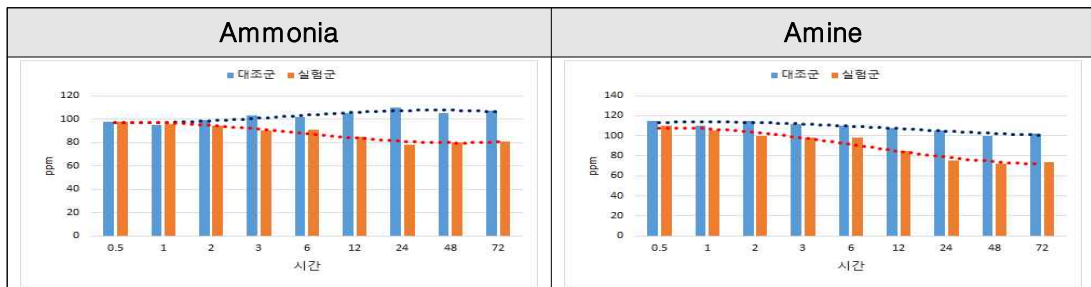


표 10. *Rhodobacter spheroides* 단독처리 결과 (1%, v/v)

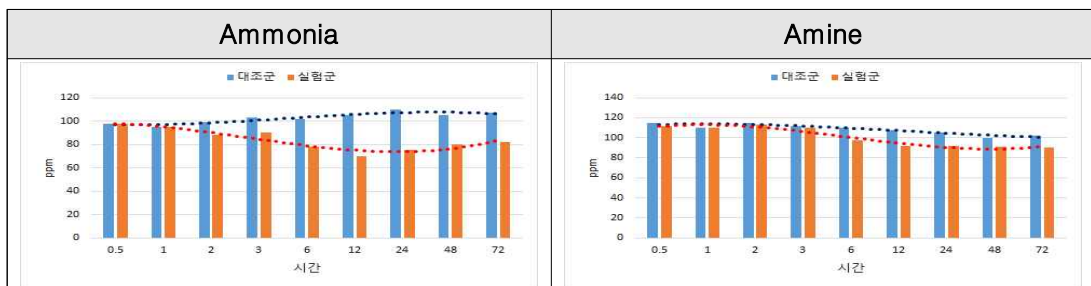
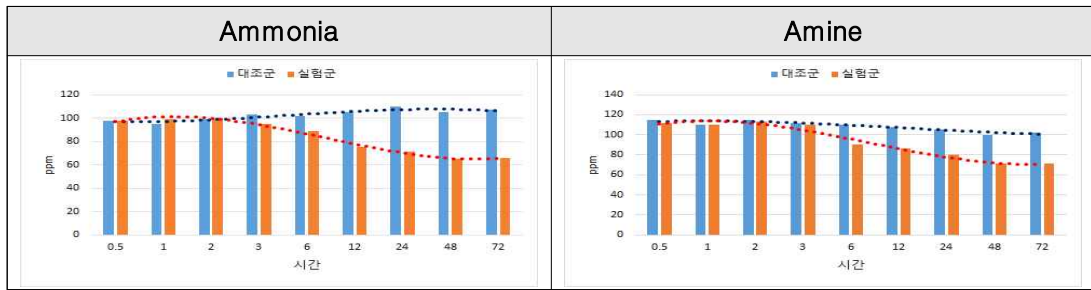


표 11. 5종의 미생물이 각 20%씩 혼합된 복합미생물제제 처리결과 (1%, v/v)



○ 천연물 소재를 이용한 악취제어 효능 평가

- 복합미생물제제를 통한 악취제어의 효능을 체감하기까지 1일에서 수일의 시간이 요구됨
- 하루의 시간은 축사에서 발생하는 악취가 인근 주민들의 생활권에 영향을 미치기에 충분한 시간임
- 따라서 보다 효과적인 축산악취제어를 위하여 신속하게 악취물질을 제어할 수 있는 물질을 탐구함
- 이는 기존에 상용화되어 있는 화학합성 냄새 흡착제 성분 혹은 숯과 같은 상품 제작까지 공정이 까다로운 요소를 배제하고 경제적 혹은 사회적으로 안정적인 친환경 천연물 소재의 활용을 담보하여 진행함
- 문헌연구 및 토의를 통하여 해조류에서 분비되는 끈적끈적한 알기닌 성분이 악취 물질을 흡착할 수 있는 가능성을 염두에 둠
- 이와 더불어, 남해안 및 제주도 연안에서 발생되어 매년 제기되고 있는 해조류 종에 대한 활용을 모색함
- 연구 소재의 범위에는 갈조류에 속하는 갯생이모자반을 포함함
- 갯생이모자반은 추운 겨우내 중국 등 서해상으로부터 종자가 유입되어 남해상에 자리를 잡고, 기온이 오르기 시작하는 이른 봄부터 급성장하여 해상 수생태계 및 양식장을 망가뜨리고 어선 및 여객선의 동력계(프로펠러)에 휘감겨 경제적 손실을 발생시킴
- 남해 및 제주도 지자체에서는 이를 해결하기 위하여 해마다 운영비를 소요하여 과증식된 해조류를 제거하고 이를 해안가에 쌓아둠
- 이는 해안 생태계 및 어민 경제 생활권을 보호하는 노력이지만 다른 한편으로 해안가에 퇴적된 폐 해조류의 부패로 인근 주민 민원이 증가됨

A



B



그림 12. 실시간 축산악취제어를 위한 해조류 활용 연구. 친환경/천연물 소재를 활용한 악취제어를 위하여 폐해조류의 활용을 고려함 (A) 갯생이모자반 (B) 해조류 분말

- 본 연구에서는 폐 해조류의 활용 방안으로 악취제어 효능을 검토하기 위하여 분말 해조류를 제작하였고, 이를 돼지 분뇨에 처리하여 악취물질 저감능력을 평가함
- 방법적인 접근은 미생물제제 연구와 동일함
- 돼지 분뇨 200 ml에 멸균수 300ml을 잘 혼합하여 최종 부피가 500 ml 수준으로 동일하게 되도록 맞춘 후 각 농도별 해조류 분말을 상층부에 뿌려줌(masking)
- 25°C 항온조에서 반응을 유도하였으며 시간별로 암모니아, 아민, 그리고 황화수소 농도를 측정하여 악취제어 효능을 평가함
- 해조류 분말은 상층부 표면에 골고루 뿌려지도록 함
- 본 연구팀이 의도한 신속한 악취제어가 가능한지 여부를 파악하기 위하여 해조류 분말 처리 후 30분, 1시간, 2시간, 6시간 반응 후 측정을 실시하였으며 반응이 시작된 시점을 기준으로 상호 비교함

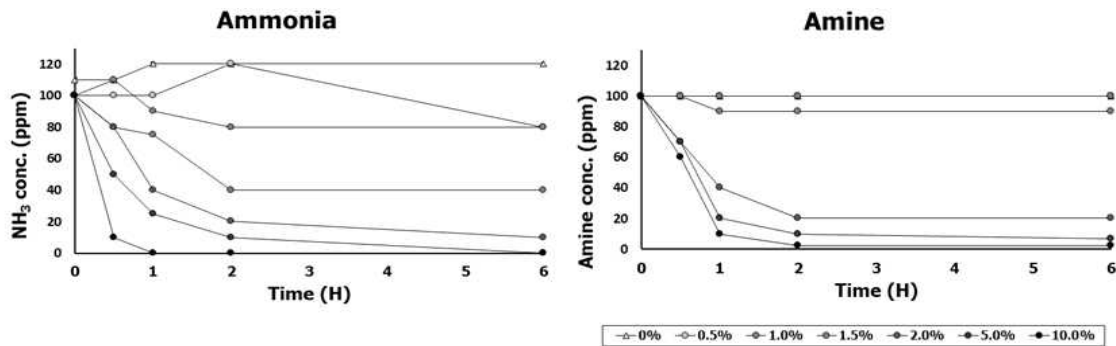


그림 13. 해조류 분말에 의한 신속한 악취 제어 효능 검증. 다양한 농도(% v/v)로 해조류 분말을 처리하여 단시간 내에 악취제어가 가능한지 평가함

- 암모니아와 아민에 대한 효능을 평가한 결과, 낮은 농도(0.5%, 1%)에서는 대조군과 유사한 수치가 측정되어 효능이 미미한 것으로 판단됨
- 이에 반면, 2% 이상 농도에서는 즉각적인 저감 효능을 보여주었으며 농도가 높아질수록 그 효과는 확실하게 나타남

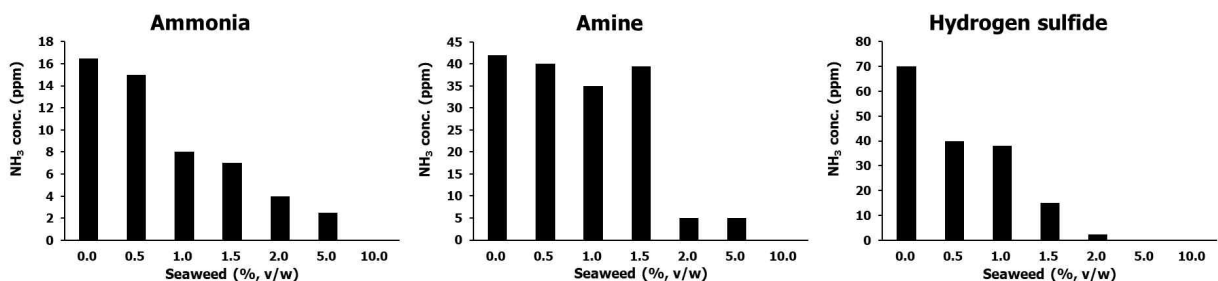


그림 14. 해조류 분말 농도에 따른 24시간 반응 후 악취물질 측정. 다양한 농도로 해조류 분말을 처리하여 24시간 반응 후 악취 물질을 측정함

- 이어서, 장시간 효과를 도출하기 위하여 24시간 반응 시점에서 각 악취물질의 농도를 측정함
- 24시간 반응에서 암모니아는 1% 해조류 분말에서도 약 50% 가량 저감효과를 보여주었고, 아민은 2% 농도부터 극적인 효과를 보여주어 약 87.5% 가량 저감 되었으며, 황화수소는 0.5%에서부터 약 57% 가량 저감 효과를 보여줌
- 이어서, 악취제어에 대한 해조류의 지속적인 효과에 대한 연구를 수행함
- 해조류 분말 처리 농도(0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 5%, 10%)에 따른 악취물질 제어 효능을 평가함
- 12시간 간격으로 각 암모니아, 아민, 황화수소를 측정한 결과, 해조류 분말 농도가 높을수록 악취물질 저감 효과가 확실하게 나타남
- 0.5%, 1% 농도에서는 저감 효과가 미미하였으나, 2% 농도 이상부터는 모든 악취물질이 제어되어 서서히 감소되거나 지속적으로 낮은 농도를 유지함

○ 친환경/천연물 소재를 포함하는 복합미생물제제 효능 평가

- 본 연구팀의 궁극적인 목표는 신속하며 지속적인 축산악취제어 시스템 구축임
- 이를 위하여 복합미생물제제를 제작하였고, 친환경/천연물 소재인 해조류의 활용방안을 마련함
- 악취제어의 효과를 극대화하기 위하여 복합미생물제제와 더불어 해조류를 함께 활용하는 방법을 모색함
- 해조류 분말을 분사하여 축산악취가 퍼지는 것을 막아주고, 복합미생물제제가 악취 원인물질 제어하는 시스템임
- 연구팀이 고안한 축산악취제어 시스템의 효능을 검증하기 위하여 앞선 연구의 복합미생물제제 혼합비와 해조류 분말 농도를 활용함

표 12. 친환경/천연물 복합미생물제제 효능평가 실험군 목록

Experimental label	Additive 1	Additive 2
Control	-	-
Test 1	-	1.5% <i>Bacillus subtilis</i> 1.5% <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 2.0% <i>Thiobacillus</i> sp.
Test 2	2% Seaweed	-
Test 3	2% Seaweed	1.5% <i>Bacillus subtilis</i> 1.5% <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 2.0% <i>Thiobacillus</i> sp.

- 반응시간은 최초 6시간째에서 악취 물질을 측정하였으며, 24시간에 추가로 측정하여 저감효과가 지속됨을 검증함

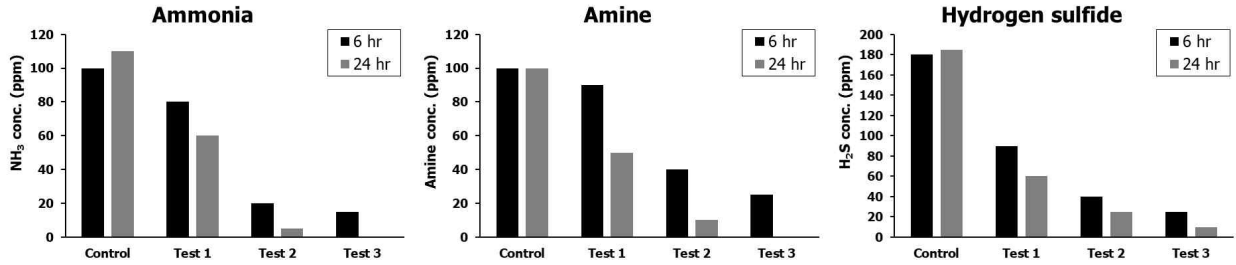


그림 15. 친환경/천연물 복합미생물제제 효능 평가. 해조류 분말과 복합미생물제제를 모두 처리하였을 경우 악취물질 제어 효과를 확인함

- 미생물, 해조류 분말, 그리고 그 둘을 모두 사용한 경우 모두 3종의 악취 물질에 대한 저감 효과를 보여줌
- 미생물만 사용하였을 경우, 암모니아에 대한 저감 효과가 약 20~40% 수준이었고 아민은 24시간 경과 후 약 50% 저감되었으며, 황화수소에 대한 효과는 약 50%~60% 저감 효과가 관찰됨
- 해조류 분말만 사용하였을 경우, 암모니아에 대하여 효과적이었으며 아민과 황화수소에 대한 저감효과도 매우 뛰어났음
- 해조류와 복합미생물을 모두 사용한 친환경/천연물 복합미생물제제의 경우 두 소재가 지닌 장점이 극대화되었다고 평가가 가능할 만큼 6시간 반응에도 3종 악취물질을 효과적으로 제어 하였으며, 24시간에는 거의 90~100% 수준으로 완벽하게 저감 효과를 보여줌
- 복합미생물제제의 실사용하기 위하여 악취저감 효율이 지속되는 정도의 파악이 중요함
- 따라서, 2일 간격으로 총 10일간 복합미생물제제에 의한 악취제어 지속성을 재검증함

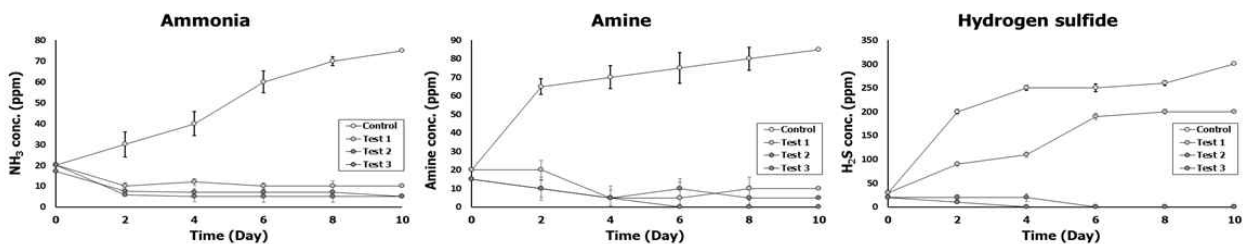


그림 16. 친환경/천연물 복합미생물제제의 악취 원인물질에 대한 지속적 제어 효능 평가. 해조류 분말과 복합미생물제제를 함께 처리하였을 경우 악취물질의 지속적인 제어 효과를 확인함

- 암모니아에 대하여 실험군 1~3 모두 2일째부터 악취 물질이 저감되어 10일까지 지속적으로 수치가 유지됨
- 아민에 대하여 실험군 1~3 모두 2일째부터 악취 물질이 저감되었으며 미생물만 단독으로 사용하였을 경우 보다 해조류 분말을 함께 사용하였을 경우 저감 효과가 증진되었음
- 미생물만 단독으로 사용하였을 경우 황화수소에 대한 제어 효과가 다른 두 경우보다 낮은 편이었으나, 미생물과 해조류를 함께 사용하였을 경우 효율적인 악취제어가 가능하였음

다. 약취물질 제어용 복합미생물 배양조건 최적화

○ 미생물제제 배양 조건 확립

- 축산약취제어를 위하여 미생물제제의 경제적 생산을 위하여 저비용 고효율의 생산 배지 연구를 수행함
- 본 연구에서는 앞선 연구의 미생물 3종과 더불어 유산균(*Lactobacillus plantarum*)과 광합성균(*Rhodobacter sphaeroides*)를 추가 선별하여 진행함 (표 13)

표 13. 각 미생물의 영양배지 및 배양 조건

No.	Strain	Media	Growth temp.
1	<i>Bacillus subtilis</i>	Luria-Bertani (LB) broth	37°C
2	<i>Lactobacillus plantarum</i>	MRS broth	30°C
3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Yeast extract peptone dextrose (YPD)	32°C
4	<i>Thiobacillus</i> sp.	Luria-Bertani (LB) broth	37°C
5	<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	Luria-Bertani (LB) broth	30°C

- 톤(ton)단위의 상업용 미생물 대량 배양에 있어서 1리터 단위의 소규모 플라스크(flask) 배양에서 사용되는 복합영양배지는 경제적으로 비효율적임
- 표 13의 배지 정보는 균주 기탁은행에서 권장하는 복합배지를 나타내며, 각 미생물의 성장 특성과 영양요구도를 고려하여 대량배양용 배지 조성을 고안함
- 대량 배양에 앞서, 타 균의 오염을 방지하기 위하여 단일 미생물(single cell) 분리와 전배양은 표 13의 복합영양배지를 사용하였으며, 배양 온도는 각 균의 조건에 맞춰서 진행함
- 5종의 미생물을 각각 LB, MRS, YPD 고체 배지에 긁어주어 단일 콜로니(균집) 단위로 분리하였고, 각 균의 표현형질이 확인된 균체를 액체 배지에 접종함
- 각 배양 조건으로 밤샘 배양하여 전배양 한 후, 본배양 부피의 1%가 되도록 접종함
- 전배양은 3ml에서 30ml 배양액 부피로 2회에 걸쳐 점진적으로 부피를 올렸음
- 5L 배양기에서 3L 수준으로 진행된 본배양은 연구팀이 고안한 대량배양용 배지조성을 이용하였으며 성분은 하단의 표 14와 같음

표 14. 각 미생물의 대량 배양용 배지 조성

<i>B. subtilis,</i> <i>Thiobacillus</i> sp.		<i>R. sphaeroides</i>		<i>L. plantarum</i>		<i>S. cerevisiae</i>	
Glucose	0.6%	Yeast extract	0.5%	Glucose	1.2%	Glucose	1.45%
Yeast extract	0.8%	K ₂ HPO ₄	0.1%	Yeast extract	0.8%	Yeast extract	1.3%
NaCl	0.15%	MgSO ₄	0.1%	Na ₂ HPO ₄	0.3%	K ₂ HPO ₄	0.2%
K ₂ HPO ₄	0.25%	Sodium succinate	0.5%	NaCl	0.2%	MgSO ₄	0.05%
Na ₂ CO ₃	0.05%			Na ₂ CO ₃	0.05%		
MgSO ₄	0.1%			HSP	0.2%		
				MgSO ₄	0.05%		
				MnSO ₄	0.05%		

- 본배양 과정동안 생균수 및 포자형성, 오염여부 등을 확인하기 위하여 광학현미경으로 관찰함과 동시에 각 시료를 고체배지에 도말하였음

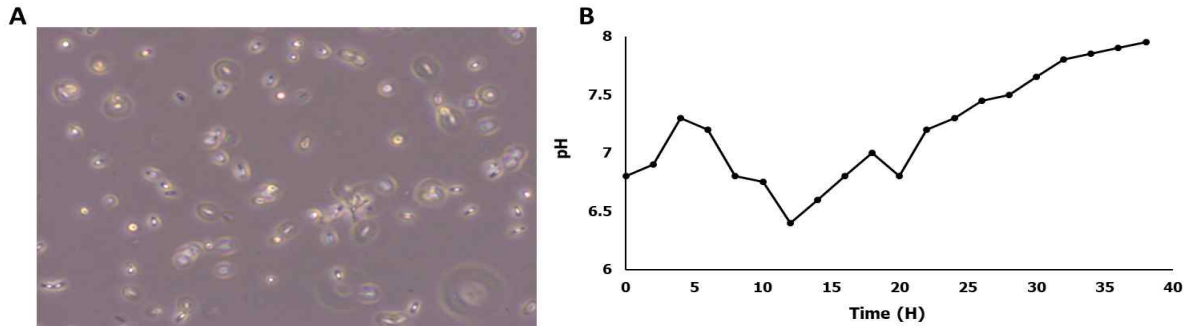


그림 17. *Bacillus subtilis* 대량 배양. 미생물제제 대량 생산을 위하여 배양 과정을 관찰함 (A) 현미경관찰, (B) 배양시간별 pH 변화

- 고초균의 경우 배양 18시간 후 약 20%의 포자 형성율을 나타내었으며, 배양 24시간 후에 전체 미생물의 95%이상에서 포자를 형성되는 것을 확인함

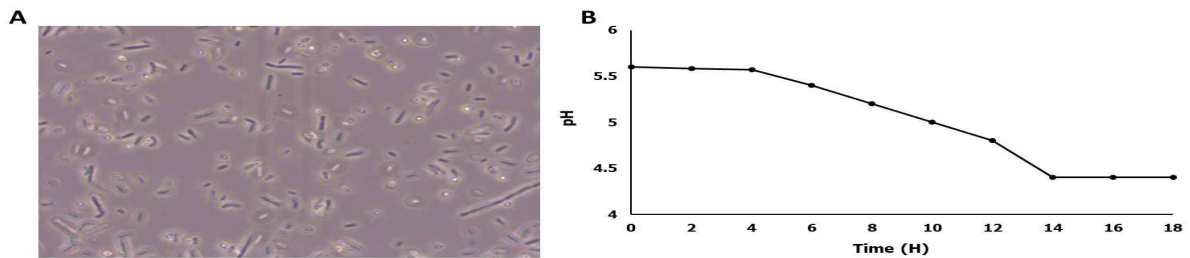


그림 18. *Lactobacillus plantarum* 대량 배양. 미생물제제 대량 생산을 위하여 배양 과정을 관찰함 (A) 현미경관찰, (B) 배양시간별 pH 변화

- 유산균의 경우 배지 멸균 후 pH 6.3이었으며, 6시간 이후 대수기가 시작되어 pH 변화가 급격히 감소하였으며, 배양 13시간 후 미생물 성장이 완료됨

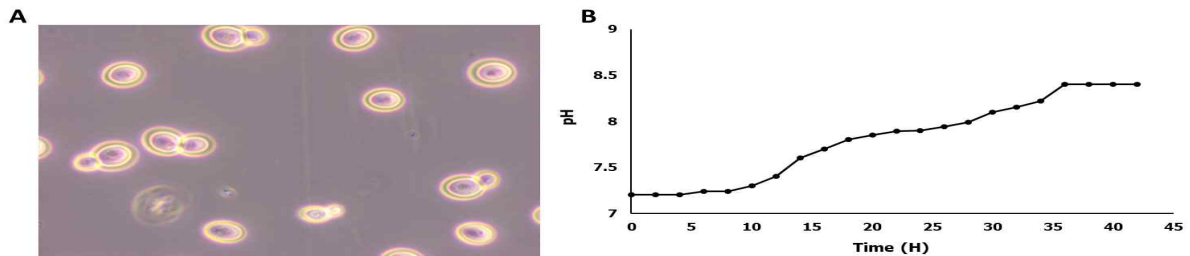


그림 19. *Saccharomyces cerevisiae* 대량 배양. 미생물제제 대량 생산을 위하여 배양 과정을 관찰함 (A) 현미경관찰, (B) 배양시간별 pH 변화

- 효모의 경우 종균 접종 후 10시간부터 대수기에 접어들었으며, 배양이 진행되는 동안 pH 6.8에서 pH 8.5로 상승되다가 38시간 이후 정지기에 접어드는 것을 확인함

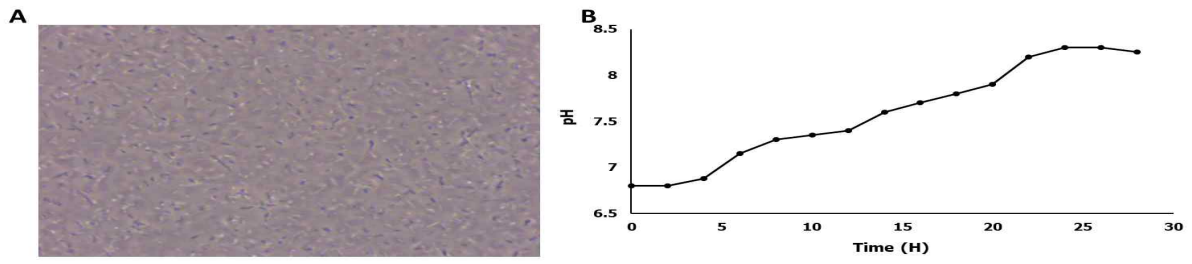


그림 20. *Thobacillus* sp. 대량 배양. 미생물제제 대량 생산을 위하여 배양 과정을 관찰함 (A) 현미경관찰, (B) 배양시간별 pH 변화

- 황산화균의 경우 배지 멸균 후 pH 6.8이었으며, 종균 접종 후 4시간부터 대수기가 시작되어 24시간 이후 정지기에 접어들어 pH 8.1에 이르는 것을 확인함

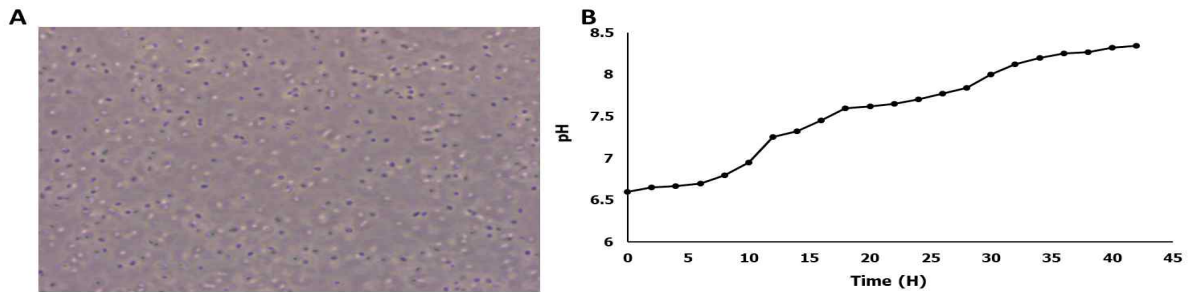


그림 21. *Rhodobacter sphaeroides* 대량 배양. 미생물제제 대량 생산을 위하여 배양 과정을 관찰함 (A) 현미경관찰, (B) 배양시간별 pH 변화

- 광합성균의 경우 종균 접종 후 6시간부터 대수기가 시작되어 배양되는 동안 pH 6.8에서 8.3로 상승되다가 36시간 이후 정지기에 접어드는 것을 확인함
- 5종의 미생물에 대한 5L 발효조 배양 결과, 각 균은 연구팀이 고안한 대량배양용 배지 조성에서 정상적인 성장 양상을 보여주었음

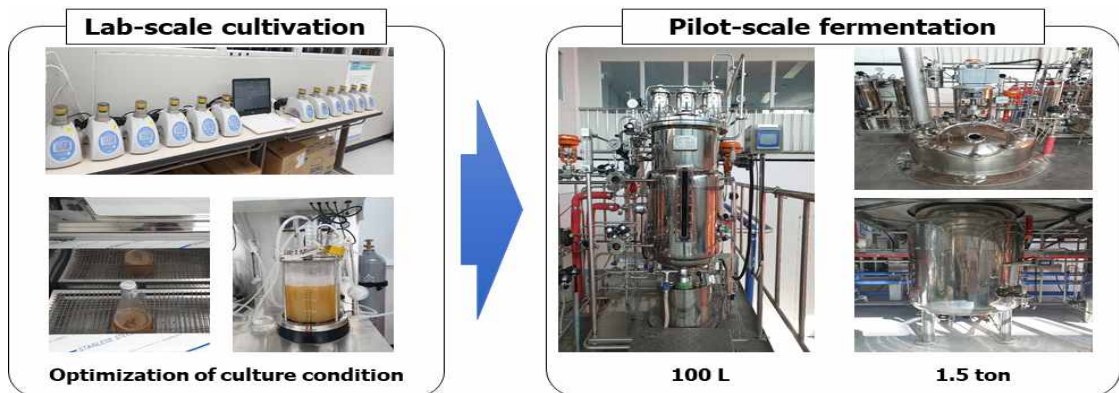


그림 22. 1.5톤 대량 배양 순서도. 저비용 고효율 미생물제제 대량 생산 최적화 과정으로 톤단위 배양을 진행함

- 선별된 각 미생물의 배양 용량을 늘리기 위하여 5L 발효조 배양 결과를 바탕으로 1.5 톤 발효조에서 각 미생물의 배양 최적화를 수행함
- 5종의 미생물을 각각 LB, MRS, YPD 고체 배지에 긁어주어 단일 콜로니(군집) 단위로 분리하였고, 각 균의 표현형질이 확인된 균체를 액체 배지에 접종함
- 각 배양 조건으로 밤샘 배양하여 전배양 한 후, 본배양 부피의 1%가 되도록 접종함
- 전배양은 50 ml에서 1,000 ml 배양액 부피로 2회에 걸쳐 점진적으로 부피를 올렸음
- 표 4에 제시된 대량배양용 배지조성을 이용하여 1.5 톤 대량 배양을 진행함
- 배양과정에서 각 미생물의 생균수 측정을 진행하였으며, 고초균, 광합성균, 황산화균은 LB 고체 배지, 유산균은 MRS 고체배지, 효모는 YPD 고체 배지 희석배수에 맞춰 100 ul씩 도말 하였음
- 각 희석된 배양액이 도말된 배지는 30°C 조건에서 12시간에서 24시간까지 배양 후 생균수를 측정함

표 15. 1.5톤 배양 후 생균수 측정 결과

No.	Strain	Viable cell count(CFU/ml)
1	<i>Bacillus subtilis</i>	1.8×10^9
2	<i>Lactobacillus plantarum</i>	2.9×10^9
3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6.7×10^7
4	<i>Thiobacillus</i> sp.	1.5×10^{10}
5	<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	3.9×10^9

- 결과적으로, 고가의 영양배지를 사용하였을 경우와 유사한 수준의 배양 결과를 확인할 수 있었음
- 특히, 황산화균이 1.5×10^{10} CFU/ml 수준의 높은 균체수를 보여주었고, 효모 또한 6.7×10^9 CFU/ml 수준의 상용화 가능 수준의 배양 결과를 확인할 수 있었음

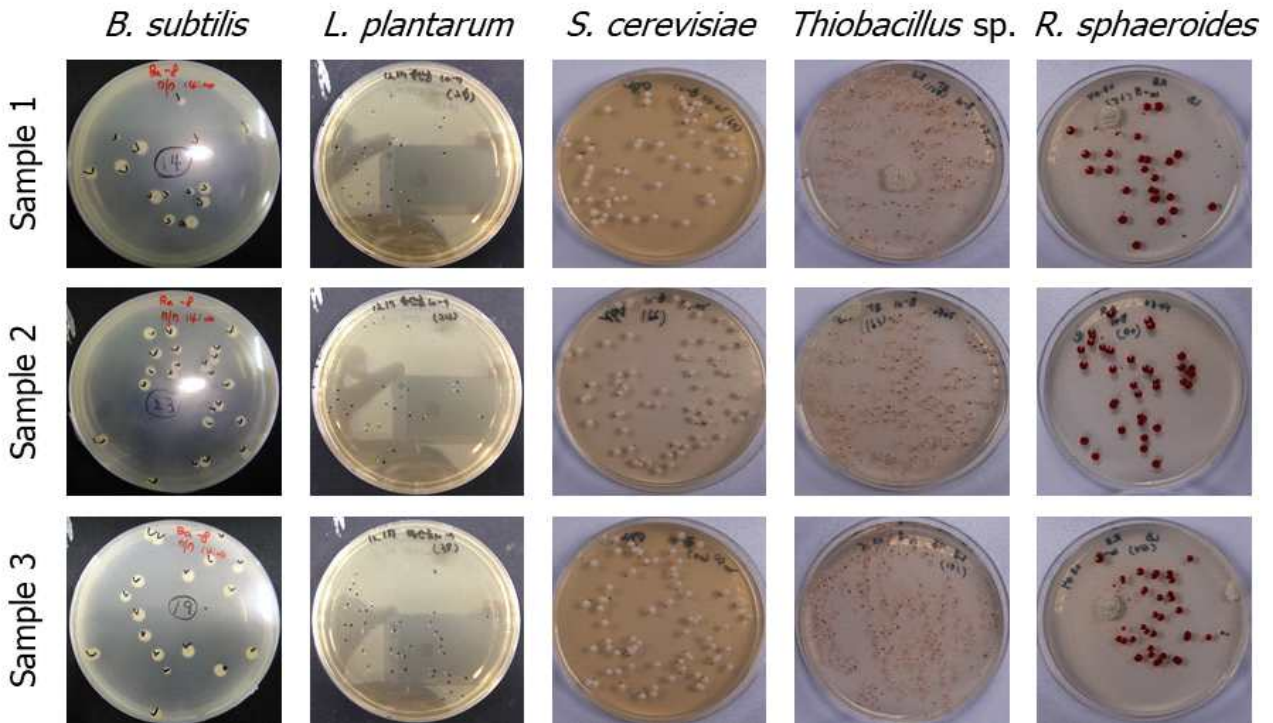


그림 23. 약취제어 목적 미생물의 1.5톤 대량 배양 결과. 5종 미생물에 대한 톤단위 배양 후 생균수 측정을 위하여 각 시료를 고체 배지에 도말함

- 생균수 측정을 위해 고체 배지에 도말된 각 미생물 콜로니(군체)의 표현형질을 비교한 결과에서도 5종 미생물 각각의 특성을 보여줌
- 오염도에 대한 검토에서도 황산화균과 광합성균에서 일부 오염균이 관찰되지만 연구 결과에 영향을 주기 어려운 미미한 수준임 - 생균 희석과정과 배양 과정에서의 오염으로 판단됨
- 상기 결과는 이어지는 연구에서 복합미생물 배양 조건 최적화에 보조 자료로 활용함

○ 약취제어 미생물 2종 대량 복합배양 최적화

- 복합미생물제제의 제작은 단일 미생물을 각각 배양하여 이차 공정으로 혼합할 수 있지만, 고가의 배양 설비를 최소 필요한 균의 수량만큼 가용하여야 하는 경제적 단점이 존재함
- 따라서, 앞선 연구에서 확립된 각 미생물의 배양 조건을 토대로 생산 비용과 균체수 확보측면에서 합리적인 산업용 배지 조성 및 배양조건을 연구함
- 이는 톤단위 배양 조건 확립을 담보함
- 연구에 사용된 총 5종의 미생물 중 고초균과 효모를 하나의 배양기 공정으로 복합 배양하는 조건을 수립함
- 수 ml 수준의 소용량 배양기를 이용하여 다양한 배지 조성에서 미생물의 성장도와 포자 형성정도를 비교하여 최적의 조건을 탐색함
- 톤단위 대량 배양을 위하여 저가의 산업용 영양 물질을 농도별로 조정하였고 2가 이온 및 pH, 산소포화도 등의 고려함

- 이를 통하여 확립한 배지 조성은 아래와 같음

표 16. 고초균과 효모 복합배양을 위한 배지 조성

Reagents for media	Concentration (% w/v)	For 1 ton cultivation (g)
Glucose	1.00	10,000
Yeast Extract	1.00	10,000
NaCl	0.15	1,500
K ₂ HPO ₄	0.25	2,500
Na ₂ CO ₃	0.05	500
MgSO ₄	0.10	1,000

- 1.5톤 발효의 가동 조건은 아래와 같음

표 17. 1.5톤 발효기 가동 조건

Process mode	Condition
Temperature	35℃
Air	500 L/min
Agitation	80 rpm
Pressure	0.4 kg/cm ²

- 고체 배지에 단일 콜로니(군집) 단위로 분리된 각 균의 표현형질을 확인하여 액체 배지에 접종함
- 각 배양 조건으로 밤샘 배양하여 전배양 한 후, 본배양 부피의 1%가 되도록 접종함
- 전배양은 50 ml에서 1,000 ml 배양액 부피로 2회에 걸쳐 점진적으로 부피를 올렸음
- 표 16에 제시된 대량배양용 배지조성을 이용하여 1.5 톤 발효기에서 1톤 대량 배양을 진행함
- 표 17의 가동 조건으로 발효기를 운용하여 배양을 조절함
- 배양과정에서 시간별로 시료를 채취하여 생균수 측정 및 현미경관찰을 실시함
- 배양 시간별로 채취한 시료의 현미경관찰 결과, 18시간 배양 시점부터 고초균의 내성포자가 관찰되었음
- 이와 더불어 두 미생물이 함께 균일하게 배양되는 결과도 관찰함

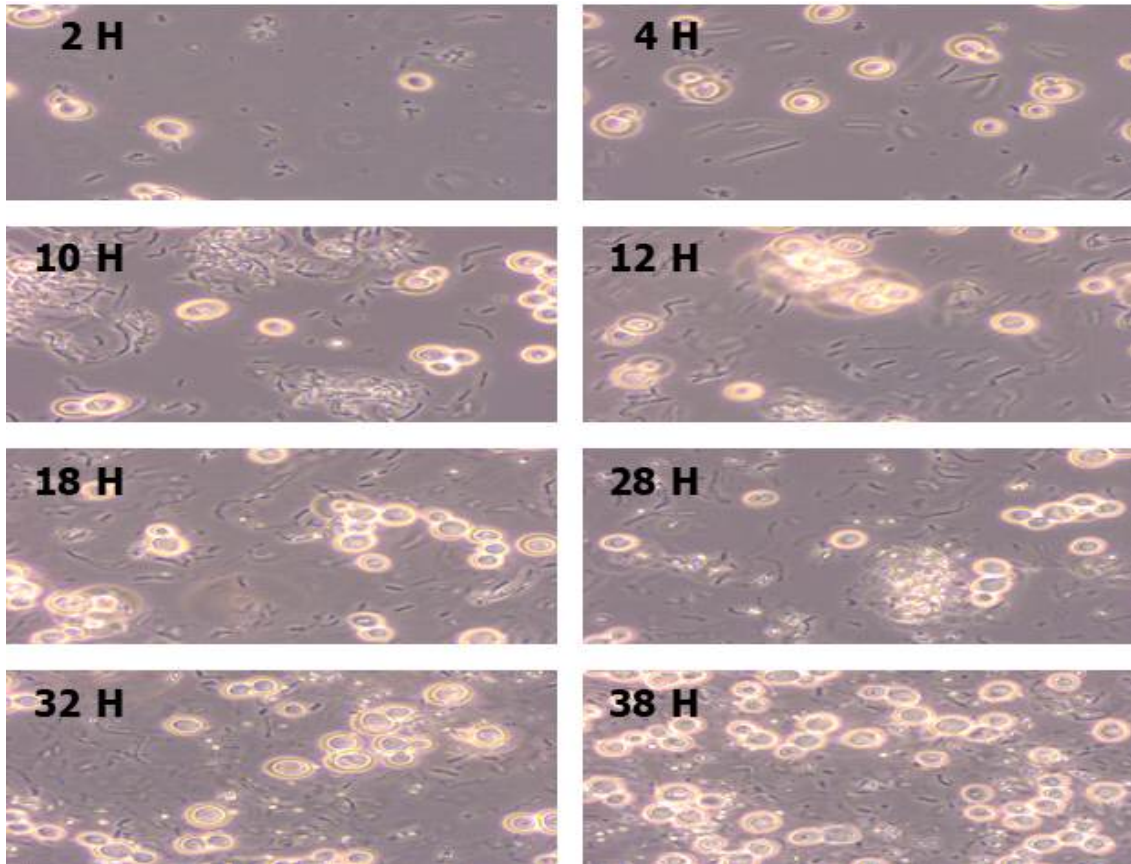


그림 24. 1.5톤 발효기에서 2종 미생물 배양 결과. 톤 단위 발효기에서 고초균과 효모를 대량 복합배양 하였고, 이를 시간별로 현미경을 통해 배양 정도를 관찰함

- 배양 시간동안 배양액 농도(Observation density)와 pH 변화는 아래와 같음

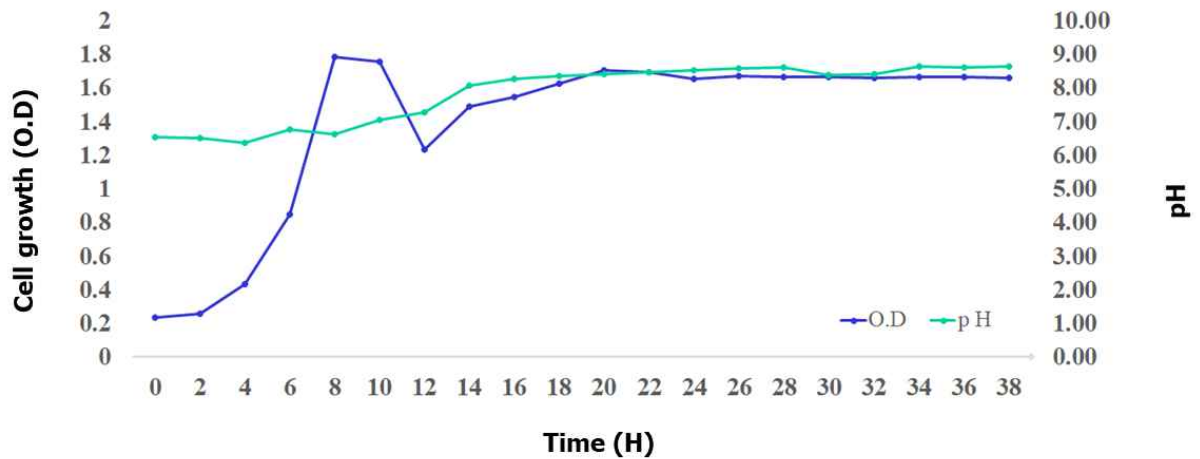


그림 25. 2종 미생물 대량 복합배양 결과. 톤 단위 발효기에서 고초균과 효모를 대량 복합 배양하며 시간별로 배양 정도와 pH 변화를 측정함

- pH 변동은 최초 pH 7 전후의 중성 pH에서 배양이 진행됨에 따라 약 8시간 후부터 중성에서 염기성으로 변동되었으며 최종 38시간에 pH 8.5 까지 변동됨

- 이와 유사하게 배양 8시간 시점까지 배양체의 농도가 증가되었으며 12시간 시점에서 감소되었다가 포자가 형성되는 18시간부터 배양된 균체의 농도 변화가 안정됨

○ **악취제어 미생물 4종 복합배양 조건 수립**

- 이어서, 4종 미생물을 복합 배양하는 연구를 수행함
- 여러 미생물을 복합배양하기 위해서는 각 균이 자라나는 특성과 영양요구도에 대한 이해가 요구됨
- 성장 특성에는 배양 온도, 배양 시간, 그리고 배양 간 변동되는 pH등의 조건이 고려되어야 함
- 영양요구도에 대한 배지 조성에는 단순 탄소원과 질소원에 대한 배합비를 우선 고려하되 최종에는 대량 배양에 대한 경제적 요소도 합리적 계산 해야 함
- 본 연구팀은 다년간 다양한 농축산용 미생물의 배양 경험을 지니고 있으며, 각 균의 배양 특성에 존재하는 상호 교집합 요소를 도출하여 이를 활용함
- 복합배양을 위해 앞선 연구의 고초균과 효모를 비롯하여 황산화균과 유산균을 추가함

표 18. 복합배양을 위해 선정된 미생물의 영양배지 및 배양 조건

No.	Strain	Media	Temp.	Time
1	<i>Bacillus subtilis</i>	Luria-Bertani (LB)	37°C	1 day
2	<i>Lactobacillus plantarum</i>	MRS	30°C	1 day
3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Yeast extract peptone dextrose (YPD)	32°C	2 day
4	<i>Thiobacillus</i> sp.	Luria-Bertani (LB)	37°C	3 day

- 각 균의 영양요구도 특성에 따라 다양한 조합의 배지 조성을 준비하였고, 수 ml 수준의 소용량 배양기에서 각 미생물의 성장도와 포자 형성정도를 비교하여 최적의 조건을 탐색함

표 19. 고초균과 효모 복합배양을 위한 배지 조성

Media 1		Media 2	
Glucose	1%	Glucose	1%
Yeast extract	1%	Yeast extract	1%
NaCl	0.15%	NaCl	0.15%
K ₂ HPO ₄	0.25%	K ₂ HPO ₄	0.25%
Na ₂ CO ₃	0.05%	Na ₂ CO ₃	0.05%
MgSO ₄	0.1%	MgSO ₄	0.1%
		HSP	0.2%
		Na ₂ HPO ₄	0.3%

- 황산화균과 효모의 경우, 유도기(lag phase)에서 대수증식기(exponential phase)까지

- 도달하는 시간이 다른 두 미생물(고초균, 유산균) 보다 하루 이상의 오랜 시간이 요구됨
- 따라서, 황산화균과 효모의 전배양을 먼저 시작하고, 하루 뒤 고초균과 유산균의 전배양을 실시하여 모든 균의 본 배양 시점을 적절하게 조정하였음
- 배양 조건을 성립하기 위한 소용량 발효기에서는 30도, 35도 배양 온도에서 진행되었으며, 각 온도에 따른 성장곡선은 다음과 같음

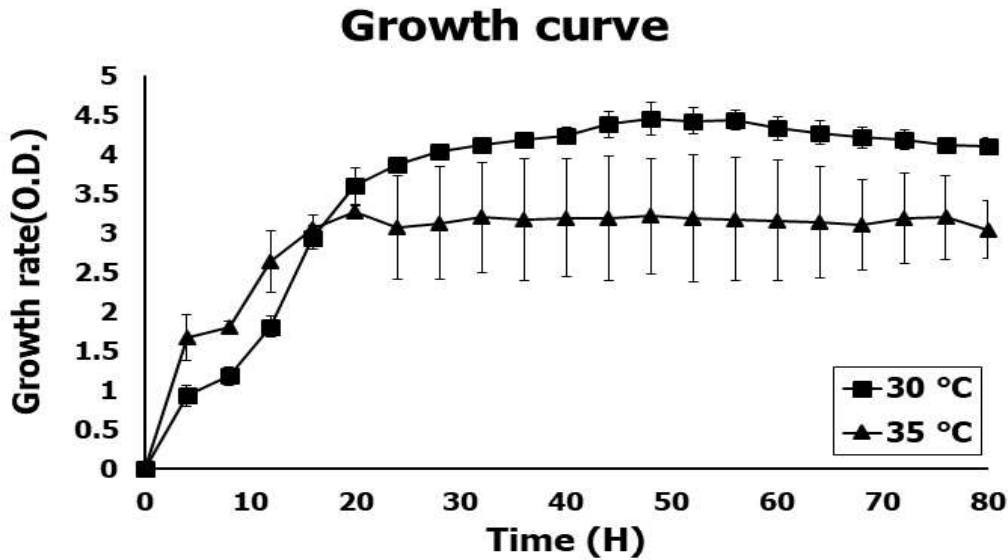


그림 26. 소용량 배양기에서 수행한 복합배양 결과. 배양시작 후 4시간 단위로 흡광도를 측정하여 배양 정도를 판단함

- 3회 반복 시험을 통해 배양 온도에 따른 복합배양의 결과 35도 배양 조건에서 측정된 흡광도의 오차 범위가 매우 넓었으며 30도 배양 조건이 상대적으로 안정적임을 알 수 있었음

표 20. 소용량 배양기에서 수행된 복합배양의 생균수 측정결과

No.	Media	Strain	30°C	35°C
1	LB	<i>Bacillus subtilis</i>	3.1×10^7	1.8×10^7
2	MRS	<i>Lactobacillus plantarum</i>	4.3×10^7	8.2×10^7
3	YPD	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6.5×10^8	1.4×10^8
4	LB	<i>Thiobacillus</i> sp.	8.1×10^8	2.4×10^7

- 단순 비교 결과로 30도와 35도 배양 조건에서 각 미생물이 유사한 수준으로 배양됨을 관찰 할 수 있으나 2종 이상의 미생물을 복합배양 할 경우 분명한 생균수 측정이 어려움을 고려해야 함
- 5리터 배양기에서 수행한 복합배양을 현미경 관찰한 결과는 다음과 같음

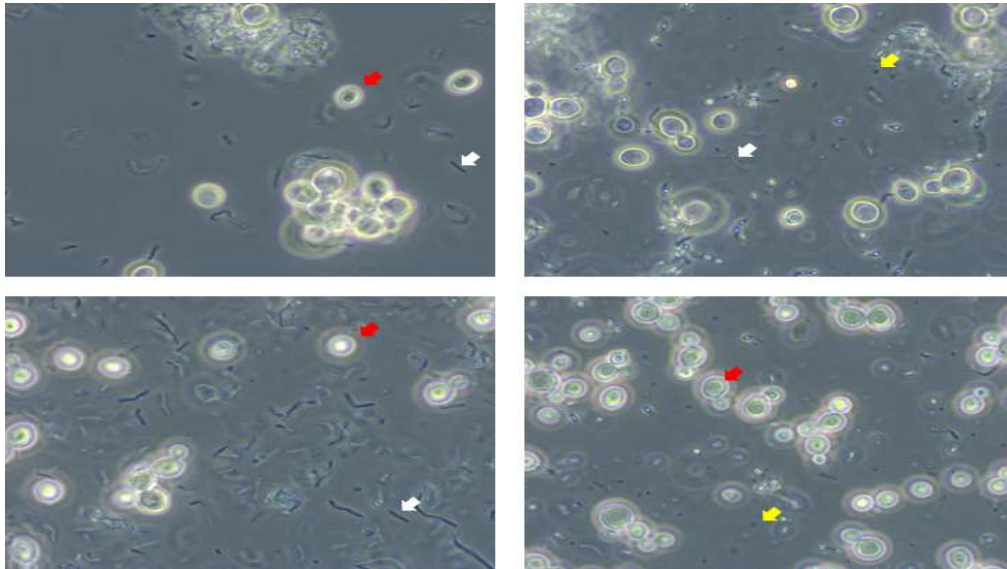


그림 27. 5L 배양기에서 수행한 복합배양 결과. 시간별로 채취한 각 시료에서 다양한 형태의 미생물이 관찰됨.

- 4종 미생물의 각 특성은 아래와 같음
- 현미경 관찰 결과, 다른 미생물과 크기적으로 현격히 큰 효모의 성장이 확연하게 구별됨
- 하지만 다른 미생물의 경우, 크기와 형태가 유사하여 이를 구별하기 어려웠음
- 현미경에서 관찰된 미생물은 구형, 짧은 선형, 그리고 길어져 가는 선형의 미생물 임
- 이는 고체 배지에 도말하였을 경우에도 분명한 구별이 어려웠음

표 21. 4종 미생물의 형태적 특성

No.	Strain	Shape	Spore	Motility	Size(μm , diameter / length)
1	<i>Bacillus subtilis</i>	Rod-shape	○	○	0.5-1.0 / 1.0-4.0
2	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Rod-shape	×	×	0.7-1.1 / 2.0-4.0
3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Ellipsoid or Spherical	○	×	5-10 / 5-10
4	<i>Thiobacillus</i> sp.	Rod-shape	×	○	0.5-0.8 / 1.8-2.5

- 크기나 모양 등의 형태적 특성으로 이를 분류하기 어렵고, 시간적 요인을 제외 하면 대부분의 균이 영양배지 혹은 최소 배지에서 성장됨
- 따라서 연구팀에서는 복합 미생물에 대해 고체 배지에 희석 배수로 도말하여 1차적으로

균의 수를 측정하고, 2차적으로 전자 현미경 및 PCR 기법을 적용하여 일정 부피의 배양액 내 존재하는 각 미생물의 비율을 측정할 계획임

- 이와 더불어, 복합 배양의 장점을 도출하기 위한 과정으로 복합 배양된 미생물과 단독 배양된 미생물의 약취 저감율에 대한 효능 검증을 함께 진행할 계획임



그림 28. 복합배양 시료의 고체 배지 배양 결과. 4종의 미생물이 복합배양된 배양액을 희석하여 영양배지인 LB, MRS, 그리고 YPD에서 도말하여 복합 배양 유무 및 생균수 측정에 활용함

○ 약취제어 미생물제제 제형화 연구

- 미생물 배양액에 보존제를 혼합하여 액상제로 제작할 경우, 배양 완료 시점의 균체수에서 제형된 생균수의 감소폭이 낮아 미생물제제의 효능 유지에 용이함
- 하지만, 저온 보관이 요구되고, 저장기간이 길어질수록 사멸되는 생균의 개체수가 기하급수적으로 늘어 경제성 및 편의성이 떨어짐
- 분말 제형화된 미생물 제제는 분말화에 고가의 설비가 요구되고, 제형화 과정에서 사멸되는 미생물의 비율을 낮추기 위하여 최적 조건 탐색이 필수임
- 그러나, 분말 제형이 완료된 미생물제제는 보존이 용이하여 보관을 위한 설비가 불필요함
- 실제 축산 농가의 규모에 따라, 부수적인 보관용 설비 구비가 어려운 경우가 많아 현장에서는 분말로 제형화된 미생물제제의 수요가 높음



그림 29. 분말 제형화를 위한 미생물제제 배양. 5L 배양기를 이용하여 각 미생물을 30씩 배양함.

- 본 연구에서는 약취물질 제어용 복합미생물 배양조건 최적화와 더불어 분말제형화 연구를 수행하였으며, 분말화된 미생물제제의 약취제어 효능을 평가함
- 분말 제형화 연구에는 고초균, 효모, 황산화균을 적용함
- 고초균, 황산화균 배양에는 Luria-Bertani (LB) 배지를, 효모는 yeast extract peptone dextrose (YPD) 배지를 사용함
- 고초균, 황산화균은 37°C에서, 효모는 32°C에서 200 rpm 으로 회전교반 하며 배양하였음
- 각 균은 고체 배지에서 긁어주어 단일 콜로니(균집) 단위로 분리하였고, 각 균의 표현형질이 확인된 균체를 액체 배지에 접종함
- 각 배양 조건으로 밤샘 배양하여 전배양 한 후, 본배양 부피의 1%가 되도록 접종함
- 이때, 5L 배양기를 이용한 대량 배양을 위하여 전배양은 3ml에서 30ml 배양액 부피로 2회에 걸쳐 점진적으로 부피를 올렸음
- pH 및 OD_{600nm} 값을 기준으로 배양 정도를 점검 한 후 배양액에 20% skim milk를 비롯한 보존제를 혼합하여 -80°C 수준으로 초저온 냉동시킴
- 충분히 냉동된 각 균체는 동결건조하여 수분을 제거 하였고 막자사발과 분말화 장비를 이용하여 제형화 함



그림 30. 분말 제형화된 미생물제제. 복합미생물제제의 현장 실증 및 활용 접근성을 높이기 위하여 분말 제형화 최적화를 수행함 (A) *B. subtilis*, (B) *S. cerevisiae*, (C) *Thiobacillus* sp.

- 시작된 미생물제제 1 g을 각각 멸균수 1 ml 에 충분히 풀어주었고 이를 원액으로 하여 10⁻¹씩 희석배수를 늘려가며 현탁함

표 22. 분말 제형화 후 미생물 제제의 생균수 측정

No.	Strain	Viable cell count (CFU/g)
1	<i>Bacillus subtilis</i>	2.1 × 10 ⁹
2	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2.4 × 10 ⁸
3	<i>Thiobacillus</i> sp.	5.2 × 10 ⁶

- 각 희석 배수별로 100ul 씩 고체배지에 도말하여 배양한 결과, 고초균은 2.1×10⁹ CFU/g, 효

모는 2.4×10^8 CFU/g, 그리고 황산화균은 5.2×10^6 CFU/g의 생균수가 확인되었음

- 고초균은 미생물제제 제작과정에서 가장 안정적이었으며, 황산화균은 분말공정 사이에 사멸율이 높아 제형화 조건의 최적화가 요구되었음
- 이어서, 각 미생물제제의 악취물질제어 효능을 검증하였음
- 분말제형화 미생물제제를 각각 0.5%, 1%, 1.5%, 2% 농도(% w/v)로 처리하였으며, 24시간, 48시간 단위로 반응조 내 암모니아, 아민, 황화수소 농도를 측정함

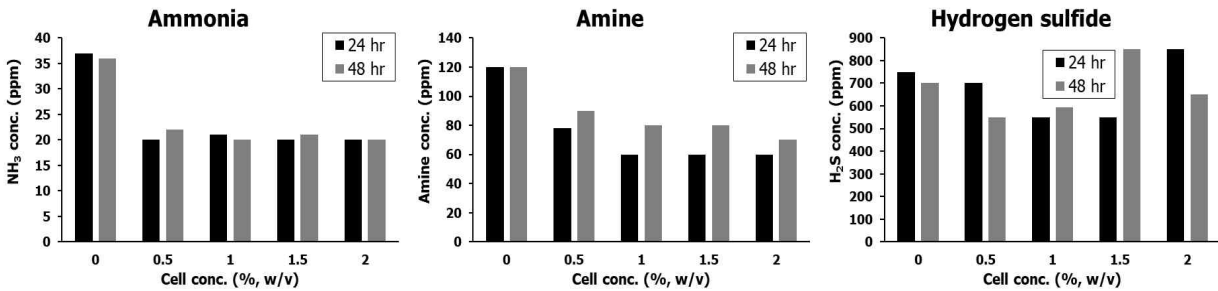


그림 31. 고초균 미생물제제 제형의 악취제어 효능. 분말 형태로 제형된 미생물제제의 악취제어 효능을 평가함

- 고초균 미생물제제 제형은 0.5% 농도 처리에서도 암모니아와 아민의 저감 및 제어 효능이 관찰되었으나, 황화수소에 대한 효과는 불확실하였음
- 미생물제제가 미처리된 대조군과 상대적으로 암모니아와 아민에 대하여 약 40~50% 저감 효능이 있었음

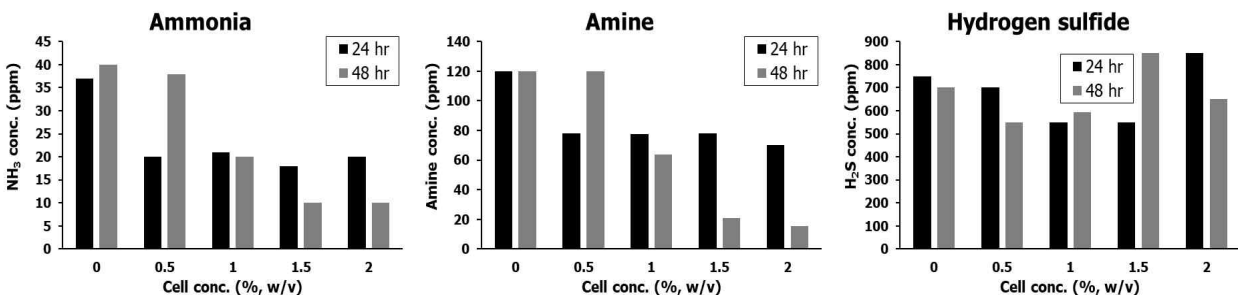


그림 32. 효모 미생물제제 제형의 악취제어 효능. 분말 형태로 제형된 미생물제제의 악취제어 효능을 평가함

- 효모 미생물제제 제형도 고초균과 유사하게 암모니아와 아민에 대한 악취제어 효능은 관찰되었으나 황화수소에 대한 효능은 불확실하였음
- 0.5% 농도 처리의 경우, 48시간 경과 후 악취물질의 농도가 증가되는 경향도 관찰되었음
- 암모니아와 아민에 대하여 1% 농도 이상에서는 안정적인 악취제어 효능이 있는 것으로 판단됨

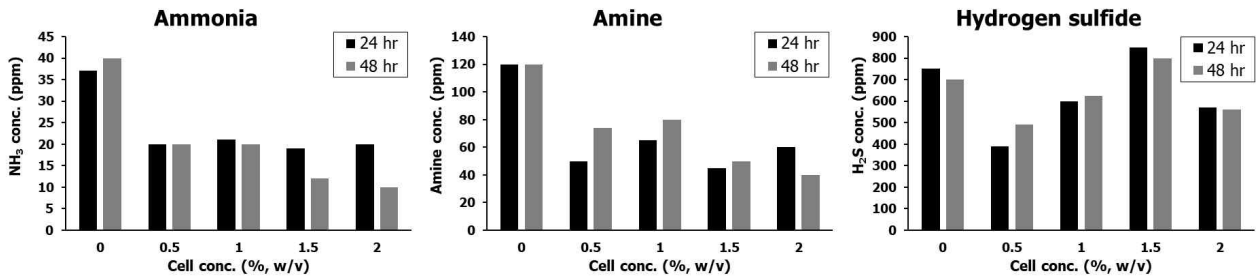


그림 33. 황산화균 미생물제제 제형의 악취제어 효능. 분말 형태로 제형된 미생물제제의 악취 제어 효능을 평가함

- 황산화균 또한 암모니아와 아민에 대하여 약 50% 수준으로 악취제어되는 효능을 관찰할 수 있었음
- 특히, 황산화균에서는 0.5% 농도에서 황화수소에 대한 악취제어 효능도 관찰되었음
- 하지만, 미생물제제의 사용 농도가 높아질수록 제어 효능이 감소되는 점은 사용법에 대한 표준화 과정의 여지가 있음

라. 악취 저감용 복합미생물제제 대량 생산(10ton 발효기) 조건 최적화

○ 악취 저감용 복합미생물제제 대량 생산을 위한 배양 최적화 계획 수립

- 농축산 유용 미생물의 산업화 수준 고농도 대량 배양에서는 경제성이 고려된 산업배지의 개발이 요구됨
- 산업배지의 개발에는 배양의 대상이 되는 균주의 생장에 요구되는 영양분의 종류와 대사 작용, 생식 주기의 이해가 필요함
- 또한, 양산되는 각 배지 성분의 생산 업체별 단가와 함량, 순도 등을 고려하여 최종에는 목적 유용 미생물의 시장성과 해당 미생물 1회 배양에서 소요되는 총 비용이 함께 고려된 배양 효율성을 따져야 함

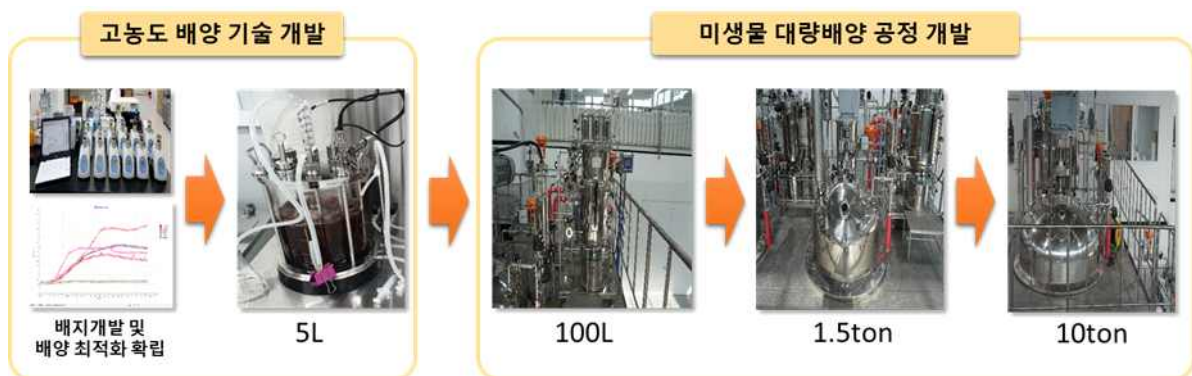


그림 34. 일반적인 고농도 대량배양 최적화 공정. 10톤 규모의 고농도 대량 배양에는 회당 수백만원 단위 비용이 발생되기 때문에 배양 최적화는 ml 수준의 소규모 배양에서 이루어지며 점진적으로 배양 공정에 영향을 주는 인자들을 고정하며 배양 규모를 증가시킴

- 이와 더불어 배양 온도, 교반 정도, pH 교정 기준 수립 등 배양 설비 운용과 연계하여 고

농도 배양에 영향을 주는 제어 조건의 최적화 과정 또한 필수적으로 요구됨

- 초저온 혹은 초고온의 극한 환경에서도 생존하는 미생물은 각기 다른 성장과 생식 특성을 지녀 이를 고농도 대량 배양하기 위해서는 목적 미생물의 생리학적 이해가 무엇보다도 중요함
- 고농도 대량 배양은 배양 설비의 운용자가 발효조 조건을 상시 제어하며 목적 미생물의 성장도를 극대화 시킬 수 있음
- 미생물을 이해가 부족한 생산 공정은 미생물의 성장도를 충분히 확보할 수 없으며 필요이상의 운용은 미생물 대사체나 배지성분, 교반 속도 등에서 발생하는 거품양, pH 변화로 인해 미생물이 순식간에 사멸되거나 생산 총균수가 감소하는 품질 저하의 요인으로 작용함
- 특히, 포자를 형성하는 미생물의 경우 포자 형성의 시점을 임의로 제어하여 배양 총 시간을 조절할 수 있으며, 최종에는 생산물의 고품질을 담보 할 수 있음
- 고농도 대량 복합 배양 공정 최적화를 위하여 우선 발현이 되는 미생물을 선정하여 이들의 영양 요구도가 고려된 산업배지를 개발하고, 배양 조건 최적화의 일련의 과정을 계획함
- 먼저, 수 ml 단위의 소규모 배양장치를 이용하여 2차년에 확보한 산업배지 조성 원형을 기본으로 하여 3종 이상의 유용 미생물의 성장 특성을 파악하고, 교반 속도, 온도 등의 배양 조건을 확보할 계획임
- 이어서, 삼각플라스크를 이용하여 수십에서 수백 ml 규모에서 이들 미생물의 성장 특성 파악 및 세밀한 배양 조건 수정을 실시할 예정임
- 나아가서 실험실 규모의 5L 발효조에서 배양 최적화와 관련한 제반 사항을 점검하여 톤 단위의 pilot-scale 배양 공정을 위한 최종 평가를 수행할 예정임
- 최종에는 10 톤 규모의 대용량 배양 설비를 이용하여 산업화 가능 수준이 생균수 $10^7 \sim 10^8$ cfu/ml 이상의 고농도 배양을 달성할 계획임
- 배양 최적화 공정에는 3종이상 미생물이 균일한 비율로 성장됨을 최소 조건으로 진행할 예정이며, 용도에 따라 각 미생물의 배양 비율을 조절 할 수 있는 단계까지 연구의 범위를 확장할 계획임

○ 약취 저감용 복합미생물제제 선정 및 산업배지 개발

- 본 연구에서는 수년간 확보한 배양 경험과 통계적 수치를 반영하여 한 회의 배양으로 3종 이상의 유용 미생물을 산업화 가능한 수준의 고농도 대량 배양하는 것을 목표로함
- 고농도 대량 복합 배양의 대상에는 농축산 현장에서 활용도가 높은 고초균, 유산균, 효모를 선정하였음
- 고초균과 유산균, 그리고 효모는 1, 2차년도 연구에서 증명하였듯 축산 약취 원인 물질의 제어에도 탁월한 효능을 지녀 본 연구에 적합한 균주로 판단함
- 일반적으로 고초균(*Bacillus subtilis*)는 Luria-Bertani(LB)배지에서 배양이 잘 이루어지는 것으로 보고 되었으며, 유산균(*Lactobacillus plantarum*)은 Lactobacilli MRS 배지에서 성장이 잘 이루어짐
- 효모(*Saccharomyces cerevisiae*)의 경우, Yeast extract peptone dextros(YPD) 배지에서 성장이 잘 이루어짐

- 상기 3종의 배양 배지는 복합 영양배지로서 각 성분은 아래 표와 같음

표 23. 미생물 배양용 영양 배지 조성

<i>Bacillus subtilis</i>		<i>Lactobacillus plantarum</i>		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
(LB media)		(Lactobacilli MRS media)		(YPD media)	
Yeast extract	0.5	Proteose pepton	1	Yeast extract	1
Tryptone	1	Beef extract	1	Peptone	2
NaCl	1	Yeast extract	0.5	Dextrose	2
		Glucose	2		
		C ₂ H ₃ NaO ₂	0.5		
		Tween 80	0.1		
		K ₂ HPO ₄	0.2		
		C ₆ H ₁₁ NO ₇	0.2		
		MgS	0.01		
		MnSO ₄	0.005		
pH(at 25℃)	7.0±0.2	pH(at 25℃)	6.5±0.2	pH(at 25℃)	6.8±0.2

- 위 배지 조성으로 혼합된 각 기성 제품을 사용할 경우 1리터 배양 당 LB 배지는 약 5,033원, YPD는 약 14,436원, MRS는 약 13,123원이 소요됨
- 이를 톤 규모로 배양할 경우 순수 배지 구매 비용에만 톤당 LB는 약 5백만원, YPD는 약 천4백만원, MRS는 약 천3백만원이 소요됨

표 24. 기성품 혼합배지를 이용하였을 경우 배지 단가 계상

(생산단가: 원)	3L 배양 (5L lab-scale 발효)	1 ton 배양 (1.5톤 pilot-scale 발효)	7 ton 배양 (10톤 pilot-scale 발효)
LB broth	15,099	5,033,000	35,231,000
Lactobacilli MRS broth	43,308	14,436,000	101,052,000
YPD broth	29,369	13,123,000	91,861,000

※ 상기 내용은 기성 제품 및 소비자가격을 이용한 단순 계산임을 명시함

- 산업화 수준 대량배양에서는 각 배지성분을 10~20kg 단위로 각각 대용량으로 구매하며 순도 또한 연구용보다 낮은 수준의 제품을 사용하여 생산 단가를 조절함
- 본 연구팀은 오랜 배양 경험으로 다양한 산업 배지 조성을 연구해왔으며 고초균과 유산균, 그리고 효모에 대한 최적 산업배지 배합을 기술노하우로 보유함 (표 25.)

표 25. 연구팀의 산업배지 조성

(단위 % (w/v))

고초균 산업배지		유산균 산업배지		효모 산업배지	
Yeast extract	~ 1.0	Glucose	~ 1.5	Glucose	~ 2.0
NaCl	~ 0.2	Na ₂ HPO ₄	~ 0.5	yeast extract	~ 2.0
Glucose	~ 0.5	Yeast extract	~ 0.1	K ₂ HPO ₄	~ 0.5
K ₂ HPO ₄	~ 0.5	NaCl	~ 0.5	MgSO ₄	~ 0.1
Na ₂ CO ₃	~ 1.0	Na ₂ CO ₃	~ 0.1		
MgSO ₄	~ 0.2	HSP	~ 0.5		
		MgSO ₄	~ 0.1		
		MnSO ₄	~ 0.1		

※ 배양 기술에 대한 지적재산권의 이유로 성분표를 상기 표와 같이 범위로 제시함

- 표 25에 제시된 배지 조성으로 생산 단가를 계상하였을 경우 표 26와 같음
- 고초균을 연구팀의 산업 규모로 배양하였을 경우 약 90만원이 소요되며, 유산균은 약 156만원, 효모는 약 146만원이 순수 배지 구매 비용으로 사용됨
- 이는 연구용 배지와 비교 하였을 경우 약 39배에서 65배까지 생산 단가를 낮추면서 산업분야에 적용 가능한 수준의 고농도 대량 배양이 가능함을 의미함

표 26. 연구팀 보유의 원천기술 기반 산업배지 단가 계상

	3L 배양 (생산단가: 원) (5L lab-scale 발효)	1 ton 배양 (1.5톤 pilot-scale 발효)	7 ton 배양 (10톤 pilot-scale 발효)
고초균 산업배지	390	129,700	907,900
유산균 산업배지	670	223,400	1,563,800
효모 산업배지	630	208,700	1,460,900

- 3차연도 연구에서는 고초균, 유산균, 효모를 경제성을 담보하며 효율적으로 배양하기 위하여 3종 복합배양이 가능한 산업배지를 개발함

- 상기 제시된 연구팀의 산업배지 조성을 기본으로 성분을 개량하여 하단 표 27의 배지를 고안함

표 27. 3종 미생물 복합 배양을 위한 산업배지 개발

(단위 % (w/v))

CMM1 배지		CMM2 배지	
Glucose	~ 2g	Glucose	~ 2g
Yeast extract	~ 2g	Yeast extract	~ 2g
NaCl	~ 0.2g	NaCl	~ 0.2g
K ₂ HPO ₄	~ 0.5g	K ₂ HPO ₄	~ 0.5g
Na ₂ CO ₃	~ 0.1g	Na ₂ CO ₃	~ 0.1g
MgSO ₄	~ 0.2g	MgSO ₄	~ 0.2g
		HSP	~ 0.5g
		Na ₂ HPO ₄	~ 0.5g

※ 배양 기술에 대한 지적재산권의 이유로 성분표를 상기 표와 같이 범위로 제시함

- 지난 2차년도 연구에서 제시한 산업배지(CMM1)에서는 유산균 배양에 대한 고려가 부족함을 판단되어 유산균 생장에 도움을 주는 HSP(Peptone)과 Na₂HPO₄ 가 첨가된CMM2를 추가 개발하여 당해연도 연구의 중반부터 활용함
- 이후 진행된 연구에서는 표 27의 배지 조성을 기본 배합으로 하여 이를 추가 개량 하여 3종 미생물 복합배양 최적화에 활용함

○ 소규모 발효기와 CMM 배지를 이용한 고초균 배양 조건 탐색

- 연구팀이 고안한 CMM1 배지를 기초하여 고초균의 배양 조건을 탐색하기 위하여 소규모 발효기(Bio-reactor, Biosan)를 이용하여 온도별(28도, 30도, 32도, 그리고 37도), 교반속도별(1,200 rpm, 1,500 rpm) 배양 정도를 성장곡선을 작성하여 비교함
- 배양 개시 및 종료 시점(약 70시간)에서 pH를 측정하여 배양시간 동안 변화되는 정도를 확인하였으며, 배양이 종료된 각 배양체를 희석 배수에 맞춰 도말 하여 총 미생물 생균수를 확인함

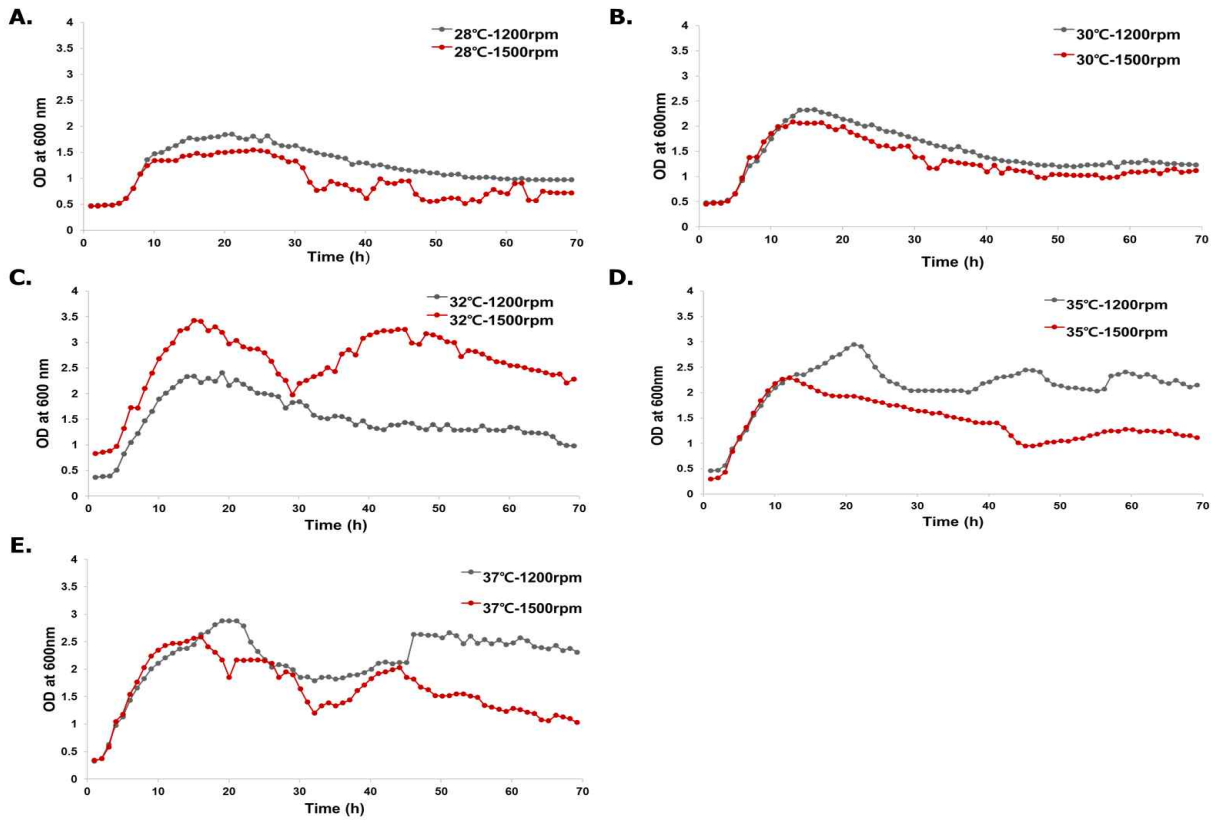


그림 35. 고초균의 소규모 배양 조건 탐색. 소규모 배양기를 이용하여 온도별, 교반 속도별 고초균의 성장정도를 OD_{600nm}에서 측정하여 이를 성장곡선으로 제시함 (A)~(E). 28도~37도 배양 조건

- 성장곡선의 검토 결과, 고초균은 배양 온도가 37도에 가까워질수록 고농도로 배양되는 것을 관찰할 수 있었으며 약 32도 배양 온도에서 OD_{600nm} 약 3.5 수준의 가장 높은 성장도를 보여주었음
- 32도 기준에서 1,500rpm이 최적 교반 속도로 확인되었으며 28도, 30도에서는 교반속도에 따른 성장도 차이가 없었음

표 28. 소규모 배양기에서 완료된 고초균 배양의 생균수와 pH

온도(°C)	28 °C		30 °C		32 °C		35 °C		37 °C	
교반속도 (rpm)	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500
생균수 (cfu/ml)	8×10 ⁸	6×10 ⁸	1×10 ⁹	1×10 ⁹	7×10 ⁸	2×10 ⁹	6×10 ⁹	2×10 ⁹	3×10 ⁸	3×10 ⁹
pH	시작	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	종료	7.5	7.6	7.8	7.6	7.8	7.6	7.5	7.5	7.5

- 생균수측정 결과 모든 조건에서 약 $10^8 \sim 10^9$ 수준으로 확인되어 CMM 배지를 이용한 고초균의 고농도 배양이 가능함을 확인 할 수 있었음
- pH 변화는 초기 7에서 최대 7.8까지 증가하였으며 각 온도별, 교반속도별로 유사하였음

○ 소규모 발효기와 CMM 배지를 이용한 유산균 배양 조건 탐색

- 연구팀이 고안한 CMM1 배지를 기초하여 유산균의 배양 조건을 탐색하기 위하여 소규모 발효기(Bio-reactor, Biosan)를 이용하여 온도별(28도, 30도, 32도, 그리고 37도), 교반속도별(1,200 rpm, 1,500 rpm) 배양 정도를 성장곡선을 작성하여 비교함
- 배양 개시 및 종료 시점(약 25시간)에서 pH를 측정하여 배양시간 동안 변화되는 정도를 확인하였으며, 배양이 종료된 각 배양체를 희석 배수에 맞춰 도말 하여 총 미생물 생균수를 확인함

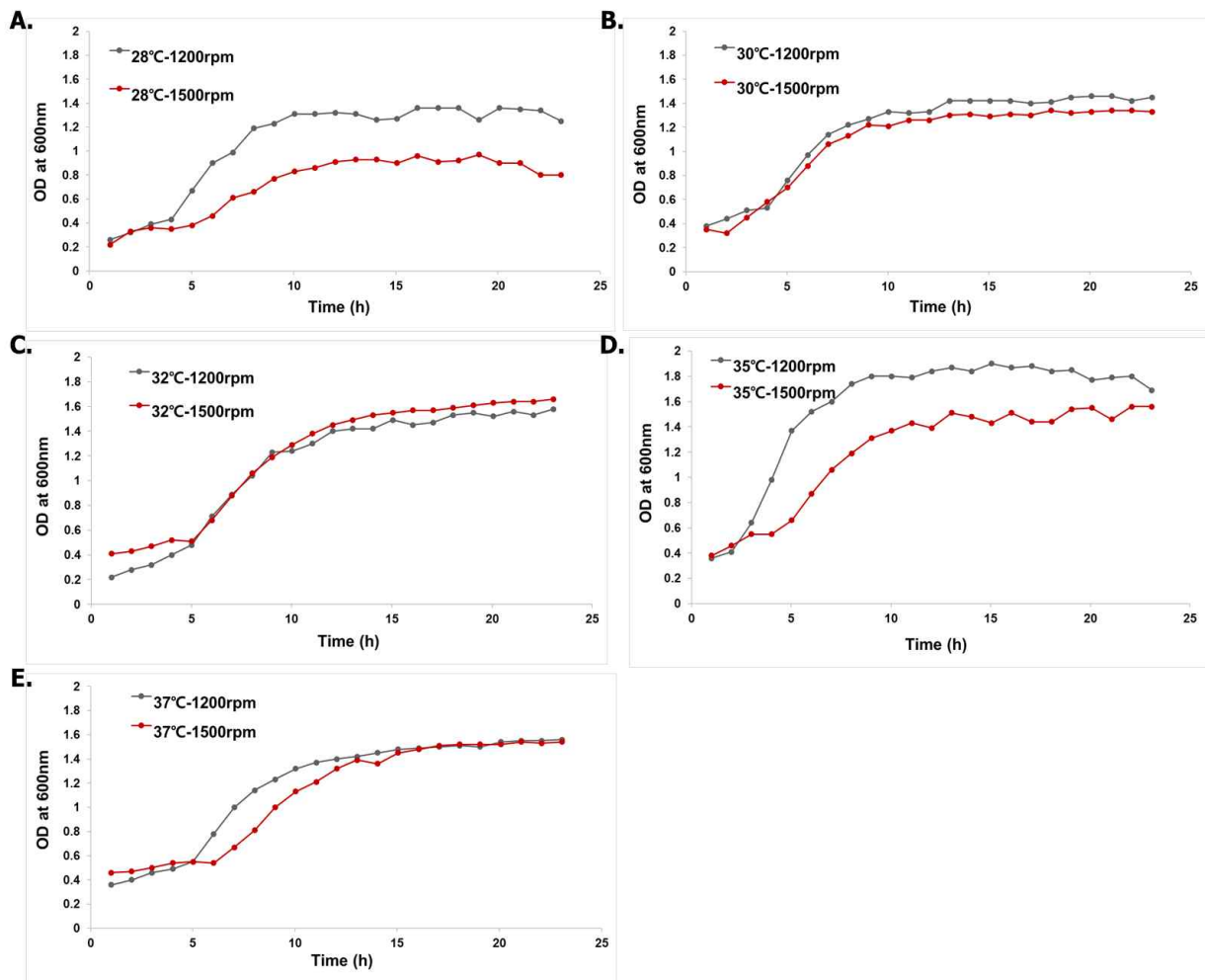


그림 36. 유산균의 소규모 배양 조건 탐색. 소규모 배양기기를 이용하여 온도별, 교반 속도별 유산균의 성장정도를 OD600nm에서 측정하여 이를 성장곡선으로 제시함 (A)~(E). 28도~37도 배양 조건

- 성장곡선의 검토 결과, 유산균은 배양 온도가 37도에 가까워질수록 생장이 잘 되는 것으로 확인되었으며 대체적으로 OD_{600nm} 약 2.0 수준으로 배양됨을 관찰 할 수 있었음
- 교반속도에 대한 성장도의 차이는 28도와 35도에서 일부 발생하였으나 대체적으로 유사한 성장도를 보여주었음

표 29. 소규모 배양기에서 완료된 유산균 배양의 생균수와 pH

온도(°C)	28°C		30°C		32°C		35°C		37°C	
교반속도 (rpm)	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500
생균수 (cfu/ml)	7×10 ⁸	1×10 ⁸	1×10 ⁹	6×10 ⁸	7×10 ⁸	1×10 ⁸	2×10 ⁸	2×10 ⁸	5×10 ⁷	9×10 ⁷
pH	시작	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	종료	4.2	4.12	4.14	4.13	4.12	4.11	4.12	4.12	4.15

- 생균수측정 결과 낮은 OD_{600nm} 흡광도에도 불구하고 모든 온도, 교반 조건에서 약 10⁸~10⁹ 수준으로 확인되었으며, 30도~35도 수준이 최적배양 온도임을 확인함
- 유산균의 소규모 배양 결과에서도 CMM1 배지를 이용한 유산균의 고농도 배양이 가능함을 확인 할 수 있었음
- 초기 pH 7에서 시작되어 유산균 특유의 산성으로 진행되는 양상을 보였으며 최종에는 pH4.1~4.2 수준을 공통적으로 나타냄

○ 소규모 발효기와 CMM 배지를 이용한 효모 배양 조건 탐색

- 효모의 경우 고초균, 유산균과 달리 진행 미생물로 분류되기 때문에 배양 조건에 차이가 있을 것으로 판단되어, 2종 미생물과 동일한 방법으로 초기 연구를 진행한 후 후조치로 배양 조건을 변경하는 순서로 연구 계획을 수립함
- 연구팀이 고안한 CMM1 배지를 기초하여 효모의 배양 조건을 탐색하기 위하여 소규모 발효기(Bio-reactor, Biosan)를 이용하여 온도별(28도, 30도, 32도, 그리고 37도), 교반속도별(1,200 rpm, 1,500 rpm) 배양 정도를 성장곡선을 작성하여 비교함
- 배양 개시 및 종료 시점(약 65시간)에서 pH를 측정하여 배양시간 동안 변화되는 정도를 확인하였으며, 배양이 종료된 각 배양체를 희석 배수에 맞춰 도말 하여 총 미생물 생균수를 확인함

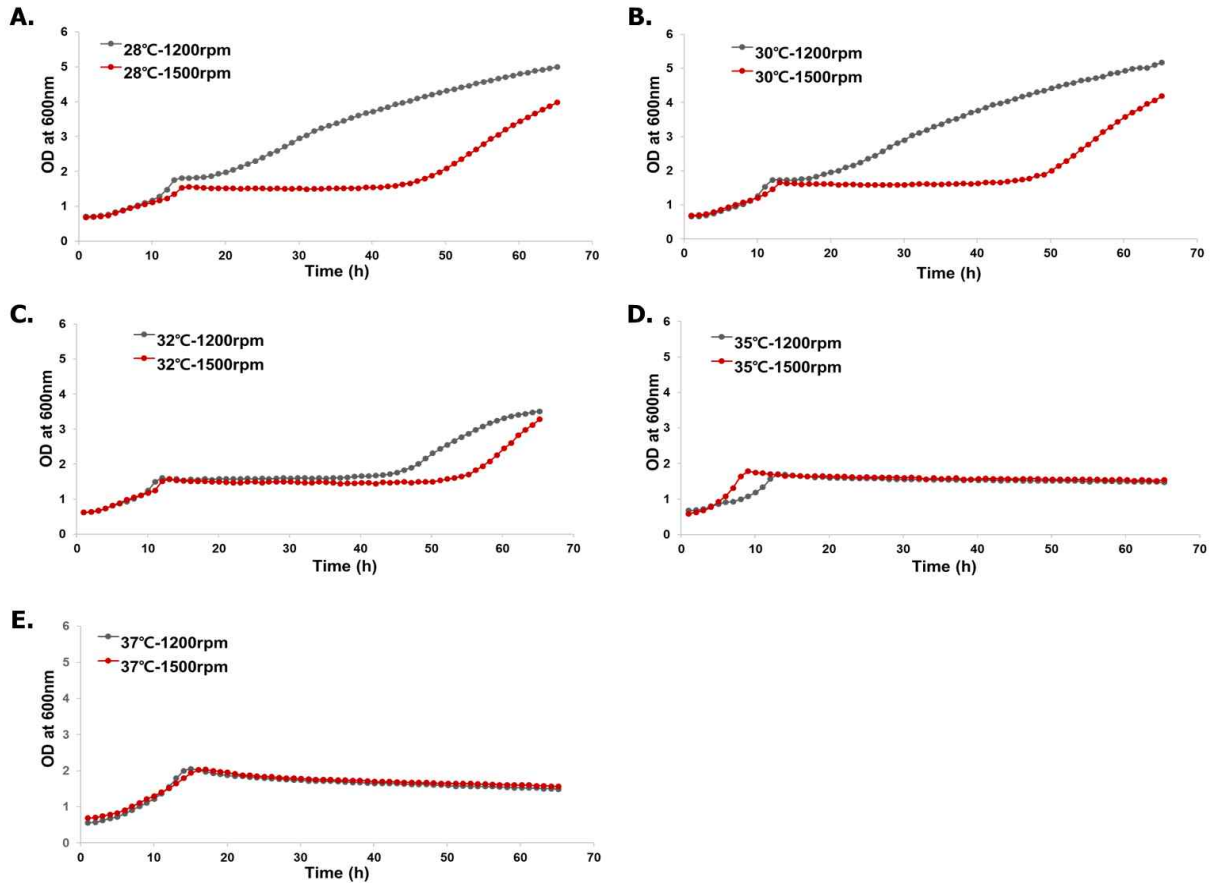


그림 37. 효모의 소규모 배양 조건 탐색. 소규모 배양기기를 이용하여 온도별, 교반 속도별 유산균의 성장정도를 OD_{600nm}에서 측정하여 이를 성장곡선으로 제시함 (A)~(E). 28도~37도 배양 조건

- 성장곡선의 검토 결과, 효모는 배양 온도 32도 이상, 교반속도 1,500 rpm에서 성장도가 매우 저해됨을 관찰 할 수 있었음
- 28도와 30도 배양 조건에서는 OD_{600nm} 약 5.0 이상의 성장도를 보여줌
- 효모의 배양 온도 및 교반 속도 결과는 3종 미생물의 복합 배양에 있어서 30도 이하의 온도, 1,200 rpm 이하의 교반 속도로 이루어져야 하는 기준점을 제시함

표 30. 소규모 배양기에서 완료된 효모 배양의 생균수와 pH

온도(°C)	28°C		30°C		32°C		35°C		37°C	
교반속도 (rpm)	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500	1,200	1,500
생균수 (cfu/ml)	1×10 ⁹	8×10 ⁸	2×10 ⁹	1×10 ⁹	1×10 ⁹	8×10 ⁸	1×10 ⁹	9×10 ⁸	5×10 ⁸	2×10 ⁸
pH	시작	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	종료	7.02	6.5	7.93	6.73	7.5	7.56	7.12	7	7.2

- 생균수측정 결과 대체적으로 약 $10^8 \sim 10^9$ 수준으로 고농도 배양이 가능 한 것을 확인하였으며, 28도와 30도가 최적최적배양 온도임을 확인함
- 효모의 소규모 배양 결과에서도 CMM1 배지를 이용한 효모의 산업화 대량 배양이 가능함을 알 수 있었음
- 초기 pH 7에서 시작되어 대체적으로 그 수준을 유지하였으며, 최저 pH6.5에서 최대 7.93까지 확인되었음

○ 산업배지의 탄소원 농도 조건 탐색 연구

- 다종 미생물을 복합 배양 할 경우 배양액 내 존재하는 영양분과 무기염류에 대한 상호 경쟁이 발생할 것으로 판단됨
- 연구 대상이 되는 고초균, 유산균, 효모는 각기 다른 성장도(적응기, 대수증식기, 감쇄증식기, 정체기, 사멸기)를 지남에 따라 적응기의 시간이 짧아 먼저 대수증식기에 들어간 균주가 타 균주의 성장을 억제하는 우점균이 될 수 있음
- 이번 연구에서는 이를 고려하여 탄소원의 농도에 따른 각 미생물의 성장도를 비교하였음
- 탄소원으로는 소화가 쉬운 글루코오스(glucose)를 선정하였고, 기본적으로 조성되는 1% 농도의 glucose에 대한 각 균주의 성장도와 탄소원 소비를 상호 비교함

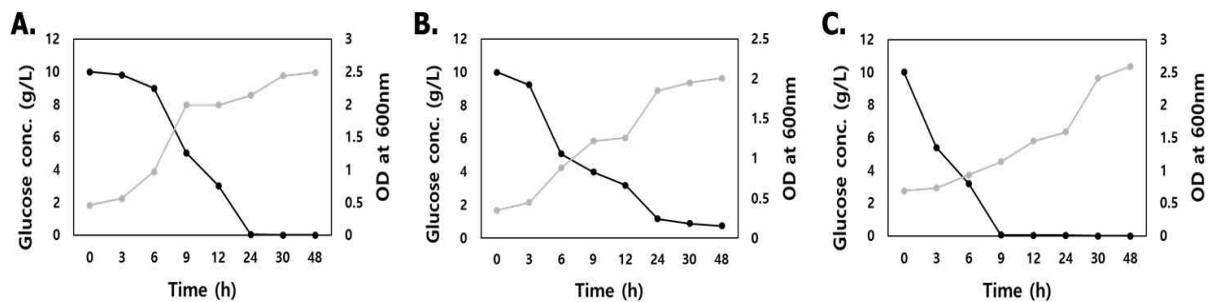


그림 38. 1% Glucose에 대한 3종 미생물 배양결과. 제한된 탄소원 조건에서 3종 미생물의 성장도와 탄소원 소모도를 측정함 (A)고초균, (B)유산균, (C)효모

- 3종 미생물의 배양에는 500ml 크기의 삼각플라스크를 사용하였으며 100ml CMM1 배지에 탄소원으로 glucose만 1%로 농도를 조정함
- 앞선 소규모 배양기 결과를 적극 활용하여 배양 온도는 30도로, 교반 속도는 150rpm (소규모 배양기의 1,200rpm과 유사한 교반 정도임)으로 고정하였음
- 성장도 곡선을 작성하기 위하여 시간별 채취된 배양액을 UV-Spectrophotometer (Libra S50, biochrom)에서 흡광도(OD_{600nm})를 측정함
- 탄소원 소모도를 평가하기 위하여 시간별로 채취된 배양액을 원심분리하여 상등액 내에 존재하는 잔존 탄소량을 분석기(glucose analyzer, YSI 2900D, YSI)를 이용하여 측정함
- 고초균, 유산균 그리고 효모 모두 앞선 소규모 배양 연구와 유사한 성장도를 보여주었고, 성장도의 역패턴으로 탄소원이 소모되는 것을 확인함

- 효모의 경우 배양 시작 9시간, 고초균은 24시간 경과 시점에서 전체 탄소원을 모두 소모하는 것으로 관찰되었으며 유산균은 배양 48시간 경과 시점에서도 탄소원이 일부 남아 있는 것을 관찰할 수 있었음
- 다른 두 종보다 빠른 효모의 탄소원 소모도는 3종 복합 배양시 고초균과 유산균의 생장에 필요한 탄소원의 부족 현상을 초래할 수 있기 때문에, 배양시간동안 각 미생물이 요구하는 충분한 양의 glucose 수준을 검토할 필요가 있었음
- 이에 효모의 탄소원 소모도를 보다 자세하게 검토하기 위하여 1, 2, 3% glucose 농도가 첨가된 CMM 배지에서 효모의 성장도와 탄소원 소모도를 검토함

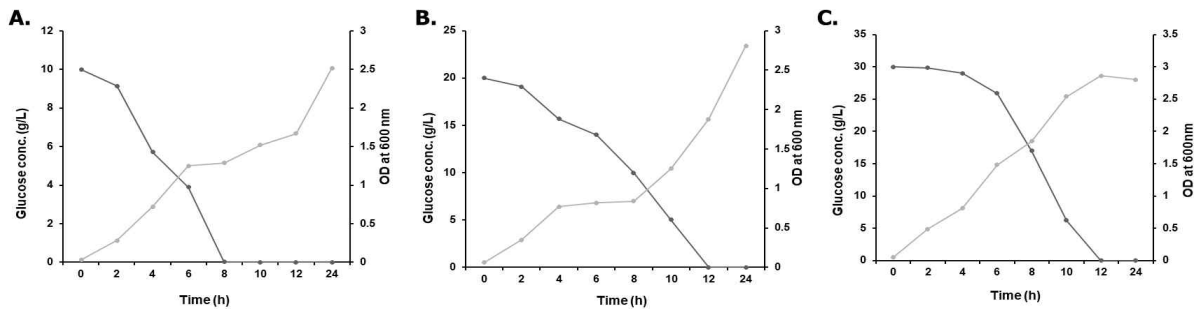


그림 39. 1 ~ 3% Glucose에 대한 3종 미생물 배양결과. 제한된 탄소원 조건에서 3종 미생물의 성장도와 탄소원 소모도를 측정함 (A) 1% glucose, (B) 2% glucose, (C) 3% glucose

- 선행된 연구와 동일하게 효모의 배양에는 500ml 크기의 삼각플라스크를 사용하였으며 100ml CMM1 배지에 탄소원으로 glucose 농도만 조정함
- 배양 온도는 30도로, 교반 속도는 150rpm(소규모 배양기의 1,200rpm과 유사한 교반 정도임)으로 고정하였음
- 성장도 곡선을 작성하기 위하여 시간별 채취된 배양액을 UV-Spectrophotometer (Libra S50, biochrom)에서 흡광도(OD600nm)를 측정함
- 탄소원 소모도를 평가하기 위하여 시간별로 채취된 배양액을 원심분리하여 상등액 내에 존재하는 잔존 탄소량을 분석기(glucose analyzer, YSI 2900D, YSI)를 이용하여 측정함
- 효모는 1% glucose를 8시간 경과 후 모두 소모하는 것으로 관찰되었고, 2, 3% glucose는 배양 12시간 경과 시점에서 모두 소모되는 것으로 확인 됨
- 고초균과 유산균 그리고 효모 모두 대수증식기에 들어가는 시점이 3시간으로 확인되어 적응기에서 해당 시점까지 탄소원이 충분할 경우 각 균의 생장이 대수로 증가됨에 따라 탄소원에 대한 경쟁 이외의 인자들이 함께 적용될 것으로 판단함
- 또한, Glucose 농도가 필요 이상으로 높아질 경우 생장이 저해되는 양상이 관찰되어 향후 연구에서는 2% glucose 농도로 고정하여 CMM1 배지를 개량함

○ 2종 미생물 복합배양 연구

- 3종이상 미생물을 대량 복합배양 하는 연구에 앞서 각 미생물간의 혼합 배양시 발생될 수 있는 경쟁과 성장 저해정도를 검토하기 위하여 각 2종의 미생물을 혼합 배양하여 이를 평가함
- 선행된 연구와 동일하게 각 미생물 조합의 혼합 배양에는 500ml 크기의 삼각플라스크를 사용하였으며 100ml CMM1 배지에 2% glucose를 탄소원으로 사용함
- 배양 온도는 30도로, 교반 속도는 150rpm(소규모 배양기의 1,200rpm과 유사한 교반 정도임)으로 고정하였음
- 성장도 곡선을 작성하기 위하여 시간별 채취된 배양액을 UV-Spectrophotometer (Libra S50, biochrom)에서 흡광도(OD600nm)를 측정함
 성장도 곡선을 작성하기 위하여 시간별 채취된 배양액을 UV-Spectrophotometer (Libra S50, biochrom)에서 흡광도 (OD600nm)를 측정함

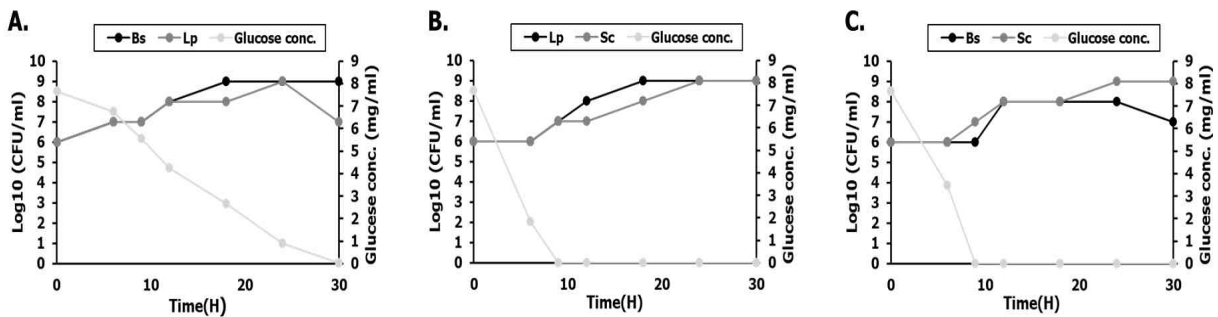


그림 40. 2종 미생물 복합배양결과. 미생물 혼합 배양시 발생 될 수 있는 성장 저해요소들을 판단하기 위하여 3종 혼합배양에 앞서 각 2종 미생물을 조합하여 총 3가지의 배양을 수행함 (A)고초균(Bs)과 유산균(Lp), (B) 효모(Sc)와 유산균, (C) 효모와 고초균

- 탄소원 소모도를 평가하기 위하여 시간별로 채취된 배양액을 원심분리하여 상등액 내에 존재하는 잔존 탄소량을 분석기(glucose analyzer, YSI 2900D, YSI)를 이용하여 측정함
- 각 조합의 2종 미생물 복합배양 결과, 효모가 함께 배양될 경우에서 배양 9시간 경과 시점에서 탄소원이 모두 소진되는 양상을 보여주었으며, 미생물 상호간의 영향에 대한 성장 저해 양상은 관찰되지 않았음
- 흡광도를 이용한 각 균주의 성장도를 실제 고체배지에 도말하여 생균수를 측정하였을 경우에도 모든 미생물의 생장이 매우 유사하게 이루어짐을 확인 할 수 있었음
- 24시간 배양시점을 기준으로 모든 미생물의 생균수는 10⁸~10⁹ cfu/ml 로 확인되었됨
- 고초균과 유산균 조합에서 12시간 배양 시점까지 4:6 혹은 5:5 비율을 유지하며 각 미생물이 성장하였으며 이후에는 두 종 미생물간 비율에 차이가 커지기 시작함

표 31. 2종 미생물 혼합배양 결과

Time (H)		0	6	9	12	18	24	30
고초균 + 유산균	고초균	6.12×10^6	4.11×10^7	3.01×10^7	5.22×10^8	4.62×10^9	2.11×10^9	3.51×10^9
	유산균	5.18×10^6	5.10×10^7	2.11×10^7	4.03×10^8	6.21×10^8	1.06×10^9	2.72×10^7
유산균 + 효모	유산균	4.31×10^6	2.13×10^6	4.16×10^7	4.52×10^7	4.22×10^8	2.65×10^9	1.14×10^9
	효모	5.11×10^6	1.11×10^6	2.16×10^7	2.42×10^8	3.25×10^9	3.21×10^9	2.14×10^9
효모 + 고초균	효모	3.11×10^6	1.06×10^6	1.52×10^7	3.14×10^8	3.22×10^8	2.14×10^9	2.60×10^9
	고초균	3.75×10^6	1.52×10^6	2.88×10^6	2.12×10^8	3.48×10^8	3.62×10^8	1.20×10^7

- 유산균과 효모 조합에서 9시간 배양 시점까지 3:7 혹은 4:6 비율을 유지하며 각 미생물이 성장하였으며 이후에는 두 종 미생물간 비율에 차이가 커지기 시작함
- 효모와 고초균 조합에서 18시간 배양 시점까지 3:7 혹은 4:6 비율을 유지하며 각 미생물이 성장하였으며 이후에는 두 종 미생물간 비율에 차이가 커지기 시작함
- 이를 토대로 이어지는 scale-up 연구에서는 CMM1 배지 원형에 glucose 농도는 2%로 확정하였으며, 30도 배양온도와 150rpm 교반 속도로 고정하고 최적 배양 시간과 단가 저감 등의 인자들에 대한 최적화를 진행함

○ 3종 미생물 복합배양 연구

- 다종 미생물 대량 복합배양을 위하여 본 연구팀이 계획한 3종 미생물(고초균, 유산균, 효모)에 대한 기초 배양연구를 수행하여 경제성이 고려된 산업배지 CMM1을 개발하였고, 복합배양시 효모의 성장에 미치는 영향에 대하여 검토함
- 고초균, 유산균, 효모를 함께 배양하는 3종 미생물 복합배양 연구에서는 미생물 생산물의 효능을 극대화 할 수 있는 산업배지의 추가 개량과 배양 공정 최적화 연구를 실시함
- 앞선 언급에서 유산균의 성장에 도움을 주는 HSP(Peptone)과 Na_2HPO_4 가 첨가된 CMM2를 개발하였고, CMM1과 CMM2를 대상으로 3종 미생물의 복합배양을 진행함
- 3종 미생물 복합배양은 지난 2종 미생물 복합배양 결과를 기초하여 500ml 삼각 플라스크를 이용하여 100ml 규모로 실시하였으며 탄소원 농도에 대한 배양 정도를 검토하기 위하여 glucose 농도를 1%, 2%, 3%로 각기 다르게 배합함
- 전배양(pre-culture)을 통해 밤샘 농화배양된 각 미생물을 본배양(main-culture)의 1%가 되도록 각각 접종하였고, 30도, 150rpm 조건으로 최대 이틀 동안 배양함
- 탄소 소모도를 관찰하면서 모든 탄소원이 소모되는 시점에서 생균수 측정을 진행하였음

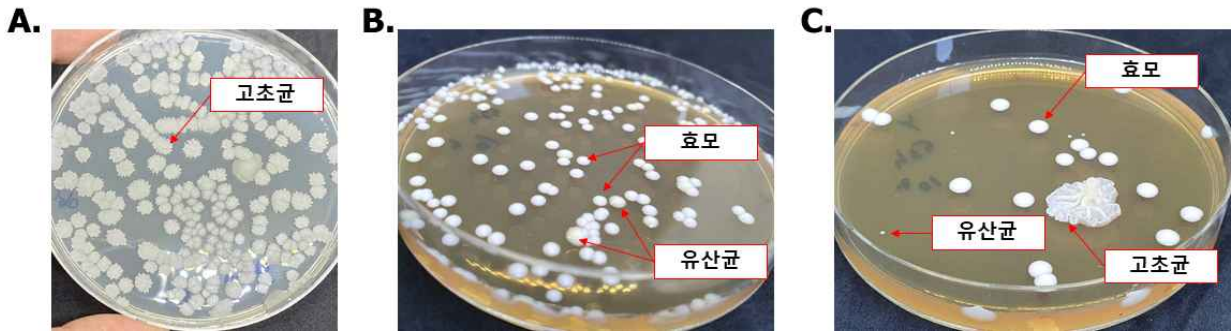


그림 41. 3종 미생물 복합배양 결과. 3종 미생물을 복합배양한 각 배양액을 시간대별로 채취하여 고체배지에 도말하여 배양기간동안 발생될 수 있는 오염을 검토하고, 각 미생물의 생균수 측정에 활용함 (A) LB 고체 배지에 도말한 결과 (B) MRS 고체 배지에 도말한 결과, (C) YPD 고체 배지에 도말한 결과

- 시간별로 채취한 배양액을 희석하여 LB(고초균 배양용 영양배지), MRS(유산균 배양용 영양배지), YPD(효모 배양용 영양배지) 고체 배지에 도말한 결과 3종 미생물이 안정적으로 배양되는 것을 관찰 할 수 있었음

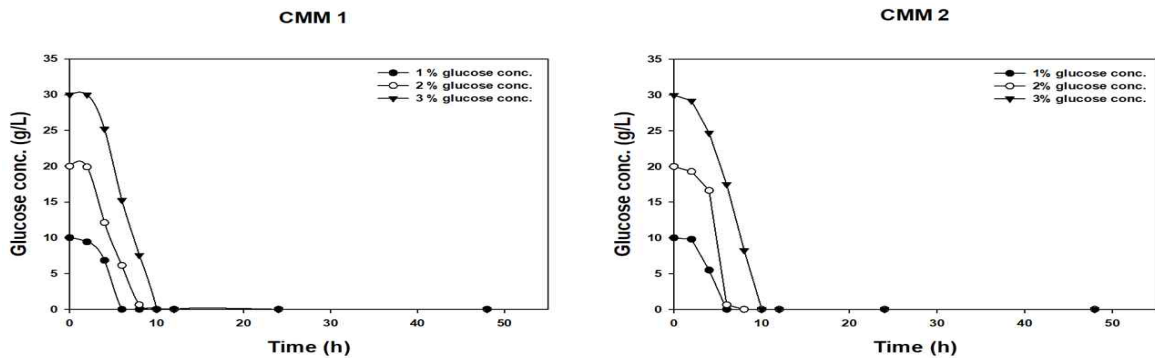


그림 42. 3종 미생물 복합배양 중 탄소원 소모도 결과 3종 미생물을 복합배양을 진행하면서 시간별로 배양액을 채취하여 잔존 glucose 양을 분석함

- 1% glucose 함량 CMM1 배지에서는 약 6시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 6.30×10^7 cfu/ml, 유산균은 6.60×10^7 cfu/ml, 그리고 효모는 4.40×10^7 cfu/ml로 확인됨
- 2% glucose 함량 CMM1 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 1.08×10^8 cfu/ml, 유산균은 1.50×10^9 cfu/ml, 그리고 효모는 2.60×10^8 cfu/ml로 확인됨
- 3% glucose 함량 CMM1 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 4.90×10^8 cfu/ml, 유산균은 1.89×10^9 cfu/ml, 그리고 효모는 2.64×10^9 cfu/ml로 확인됨

표 32. CMM1 산업 배지에서 3종 미생물 혼합배양 결과

탄소원 농도	최종 탄소원 소모 시간	고초균 (cfu/ml)	유산균 (cfu/ml)	효모 (cfu/ml)
1%	6 시간	6.30×10^7	6.60×10^7	4.40×10^7
2%	10 시간	1.08×10^8	1.50×10^9	2.60×10^8
3%	10 시간	4.90×10^8	1.89×10^9	2.64×10^9

- 1% glucose 함량 CMM2 배지에서는 약 6시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 6.35×10^8 cfu/ml, 유산균은 6.35×10^8 cfu/ml, 그리고 효모는 5.10×10^7 cfu/ml로 확인됨
- 2% glucose 함량 CMM2 배지에서는 약 8시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 8.60×10^7 cfu/ml, 유산균은 9.50×10^8 cfu/ml, 그리고 효모는 1.51×10^8 cfu/ml로 확인됨
- 3% glucose 함량 CMM2 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 7.60×10^7 cfu/ml, 유산균은 3.34×10^8 cfu/ml, 그리고 효모는 1.05×10^8 cfu/ml로 확인됨

표 33. CMM2 산업 배지에서 3종 미생물 혼합배양 결과

탄소원 농도	최종 탄소원 소모 시간	고초균 (cfu/ml)	유산균 (cfu/ml)	효모 (cfu/ml)
1%	6 시간	6.35×10^8	6.35×10^8	5.10×10^7
2%	8 시간	8.60×10^7	9.50×10^8	1.51×10^8
3%	10 시간	7.60×10^7	3.34×10^8	1.05×10^8

- 채취한 배양액 시료는 현미경관찰을 실시하여 각 미생물의 비율을 육안으로 관찰하고 획득 가능한 총균수를 산출하기 위한 자료로 활용함

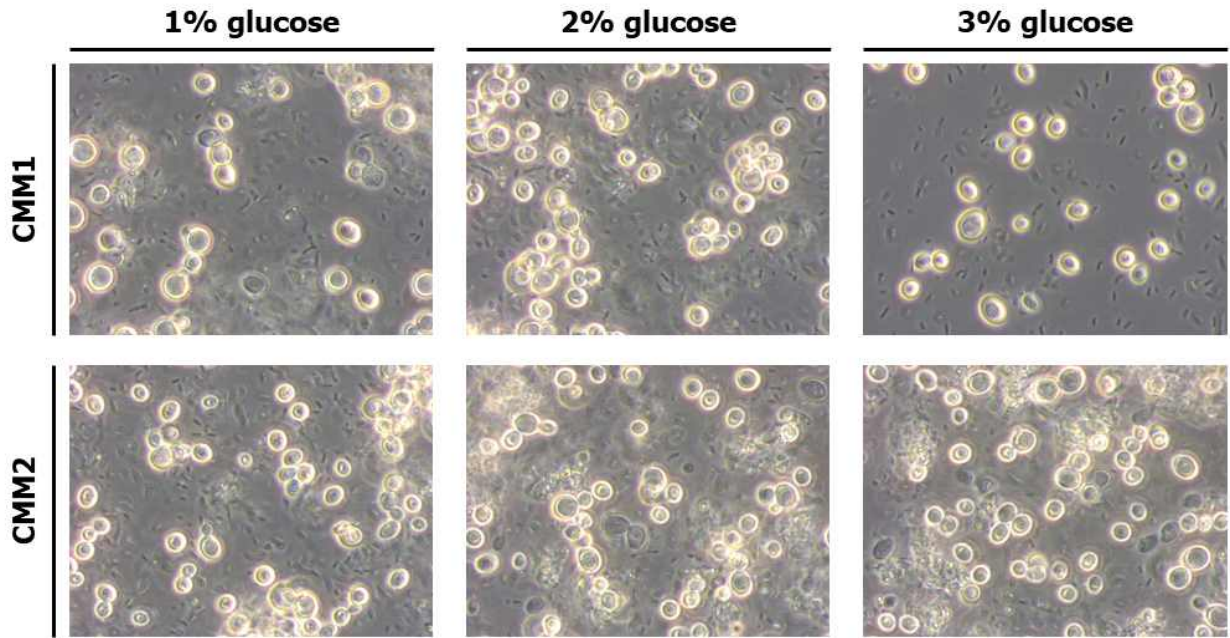


그림 43. 3종 미생물 복합배양의 현미경 관찰 현미경 관찰을 실시하여 균 상태를 확인함

○ 3종 미생물 복합배양 최적화 연구

- 본 연구에서는 한 차례의 발효 설비 운용으로 최대 생산 가능한 균수를 확보하기 위하여 배양 공정을 수정함
- 고초균과 유산균의 경우 일반적인 대량 배양 소요 시간은 24~36시간이며 효모의 경우 36~48시간이 요구됨
- 총 배양 시간을 고초균과 유산균으로 맞췄을 경우, 효모는 최대 성장에 도달하기 전이므로 생산 수율에 있어서 단점으로 작용될 수 있음
- 반면, 총 배양 시간을 효모에 맞췄을 경우, 고초균과 유산균의 생활환은 사멸기에 접어들기 때문에 고효율의 생균제(복합미생물제제) 획득을 기대하기 어려움
- 따라서, 본 연구에서는 3종 미생물 복합배양에 있어서 균 접종 시기를 조절함으로써 최대 생산 수율을 확보하기 위한 최적화 연구를 수행함
- 연구팀에서는 효모의 배양 소요시간이 고초균과 유산균보다 하루(24시간)의 시간이 추가적으로 요구됨을 이용하여 효모를 먼저 접종한 후 일정 시간 경과 후 고초균과 유산균을 접종하는 방법을 고안함
- 효모를 먼저 접종할 경우 경쟁 대상이 존재하지 않기 때문에 독립적인 성장 적응기가 수반되기 때문에 대수증시기와 감쇄증식기에 도달할 것으로 판단됨
- 이에 따른 고초균과 유산균의 성장 저해가 예상되지만, 저해의 정도의 예측이 어려움에 따라 연구 결과를 기반으로 이를 보완하기로 계획함
- CMM1과 CMM2 배지조성을 이용하여 500ml 삼각 플라스크를 이용하여 100ml 규모로 실시하였으며 탄소원 농도에 대한 배양 정도를 검토하기 위하여 glucose 농도를 1%, 2%, 3%로 각기 다르게 배합함

- 전배양(pre-culture)을 통해 밤샘 농화배양된 각 미생물을 본배양(main-culture)의 1%가 되도록 접종하였으며 30도, 150rpm 조건으로 최대 이틀 동안 배양함
- 이때, 효모의 접종을 먼저 실시하였으며, 배양 개시 9시간 뒤 고초균과 유산균을 접종하였음
- 탄소 소모도를 관찰하면서 모든 탄소원이 소모되는 시점에서 생균수 측정을 진행하였음

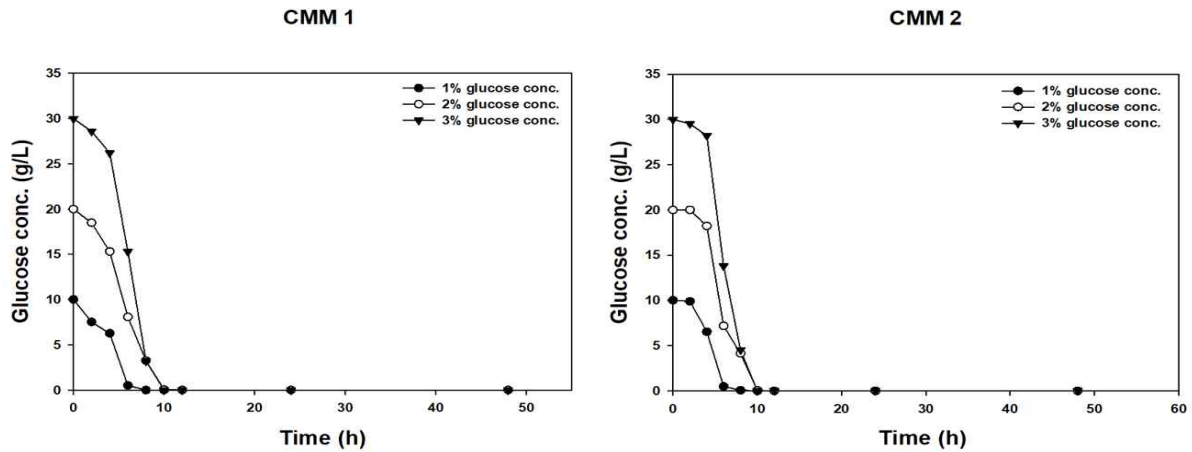


그림 44. 시간차 접종에 따른 3종 미생물 복합배양 중 탄소원 소모도 결과 3종 미생물을 복합배양을 진행하면서 시간별로 배양액을 채취하여 잔존 glucose 양을 분석함

- 1% glucose 함량 CMM1 배지에서는 약 8시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 3.01×10^6 cfu/ml, 유산균은 1.75×10^6 cfu/ml, 그리고 효모는 2.15×10^9 cfu/ml로 확인됨
- 2% glucose 함량 CMM1 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 1.35×10^6 cfu/ml, 유산균은 3.25×10^6 cfu/ml, 그리고 효모는 1.95×10^9 cfu/ml로 확인됨
- 3% glucose 함량 CMM1 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 1.75×10^6 cfu/ml, 유산균은 2.25×10^6 cfu/ml, 그리고 효모는 2.05×10^8 cfu/ml로 확인됨

표 34. 시간차 접종에 따른 CMM1 산업 배지에서 3종 미생물 혼합배양 결과

탄소원 농도	최종 탄소원 소모 시간	고초균 (cfu/ml)	유산균 (cfu/ml)	효모 (cfu/ml)
1%	8 시간	3.01×10^6	1.75×10^6	2.15×10^9
2%	10 시간	1.35×10^6	3.25×10^6	1.95×10^9
3%	10 시간	1.75×10^6	2.25×10^6	2.05×10^8

- 1% glucose 함량 CMM2 배지에서는 약 8시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시

점에서 고초균은 1.85×10^6 cfu/ml, 유산균은 2.61×10^6 cfu/ml, 그리고 효모는 1.65×10^8 cfu/ml로 확인됨

- 2% glucose 함량 CMM2 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 2.11×10^6 cfu/ml, 유산균은 3.65×10^6 cfu/ml, 그리고 효모는 1.61×10^8 cfu/ml로 확인됨
- 3% glucose 함량 CMM2 배지에서는 약 10시간 경과 후 모든 glucose 소진 되었고 이 시점에서 고초균은 1.97×10^6 cfu/ml, 유산균은 1.01×10^6 cfu/ml, 그리고 효모는 1.05×10^8 cfu/ml로 확인됨

표 35. 시간차 접종에 따른 CMM2 산업 배지에서 3종 미생물 혼합배양 결과

탄소원 농도	최종 탄소원 소모 시간	고초균 (cfu/ml)	유산균 (cfu/ml)	효모 (cfu/ml)
1%	8 시간	1.85×10^6	2.61×10^6	1.65×10^8
2%	10 시간	2.11×10^6	3.65×10^6	1.61×10^8
3%	10 시간	1.97×10^6	1.01×10^6	1.05×10^8

- 채취한 배양액 시료는 현미경관찰을 실시하여 각 미생물의 비율을 육안으로 관찰하고 획득가능한 총균수를 산출하기 위한 자료로 활용함

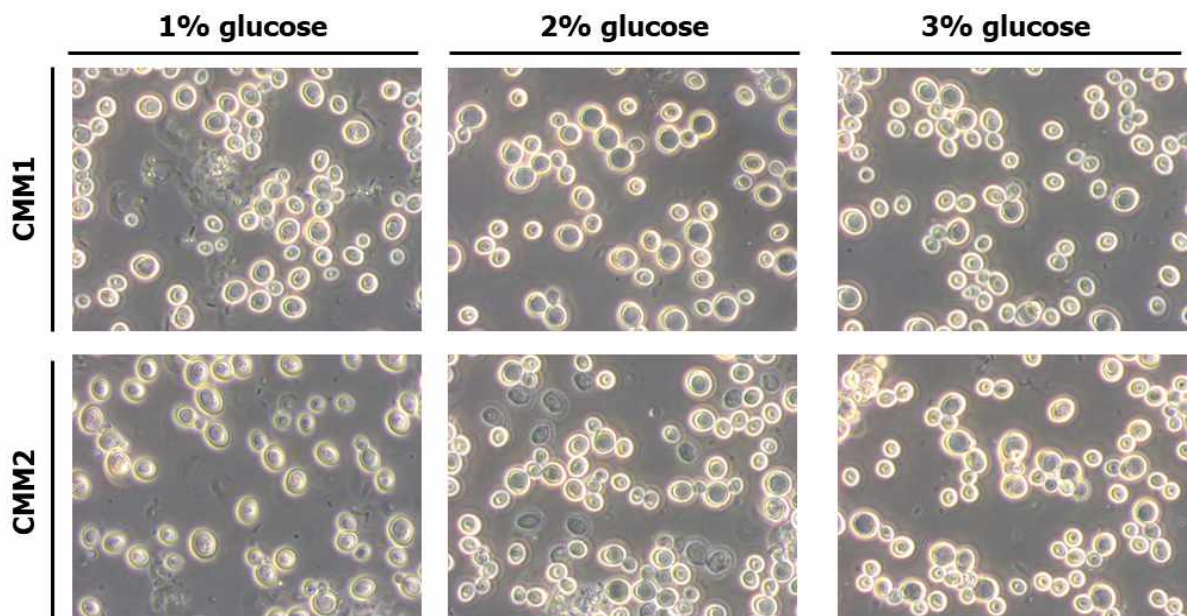


그림 45. 시간차 접종에 따른 3종 미생물 복합배양의 현미경 관찰 현미경 관찰을 실시하여 균 상태를 확인함

- 시간차 접종에 따른 배양의 결과 탄소원(Glucose) 소모 속도가 늦춰지는 양상을 관찰되었고,

효모의 경우 최대 생균수가 확보됨을 확인함

- 하지만, 앞서 우려하였듯이 효모가 우점하는 양상(그림45)이 관찰되었고, 실제 생균수 측정을 위해 도말한 고체 배지에서 고초균과 유산균의 생균 수준이 $10^6 \sim 10^7$ cfu/ml 수준으로 우점된 효모에 의한 성장 저해가 발생됨을 알 수 있었음
- 따라서 이어지는 연구에서는 기존의 함께 접종하는 방식을 고수하기로 결정함

○ Lab-scale, 3종 미생물 복합배양 연구

- 이어지는 연구에서는 실험실 규모의 5리터 발효조에서 3종 미생물을 복합으로 배양하는 연구를 수행함



그림 46. 실험실 규모의 발효조(5L)에서 3종 미생물 복합배양 연구 수행
pilot-scale 배양 연구에 앞서 실험실 규모의 5리터 발효조에서 3종 미생물 복합 배양에 대한 최종 점검을 실시함

- 5리터 발효조의 경우, 배양 과정에서 균체의 상태를 모니터링하기 용이하며 실시간으로 pH 및 DO의 측정이 가능하여 pilot-scale의 대량 배양을 위한 예비 연구로서 매우 적합함
- 5리터 발효조에 3리터 CMM1과 CMM2 산업배지를 개량하여 사용하였고, glucose 농도는 2%로 고정하였음
- 500ml 삼각 플라스크를 이용하여 100ml로 밤샘 농화 배양 된 각 미생물의 전배양 (pre-culture)를 본배양(main-culture)의 1%가 되도록 접종하였으며 30도, 150rpm, 0.5 vm(aeration volume/medium volume/minute) 조건으로 최대 3일 동안 연속배양함
- 연속배양의 48시간 경과 시점에서 교반 속도를 200rpm으로 올려주어 고초균의 포자 형성(스트레스 자극)를 유도함

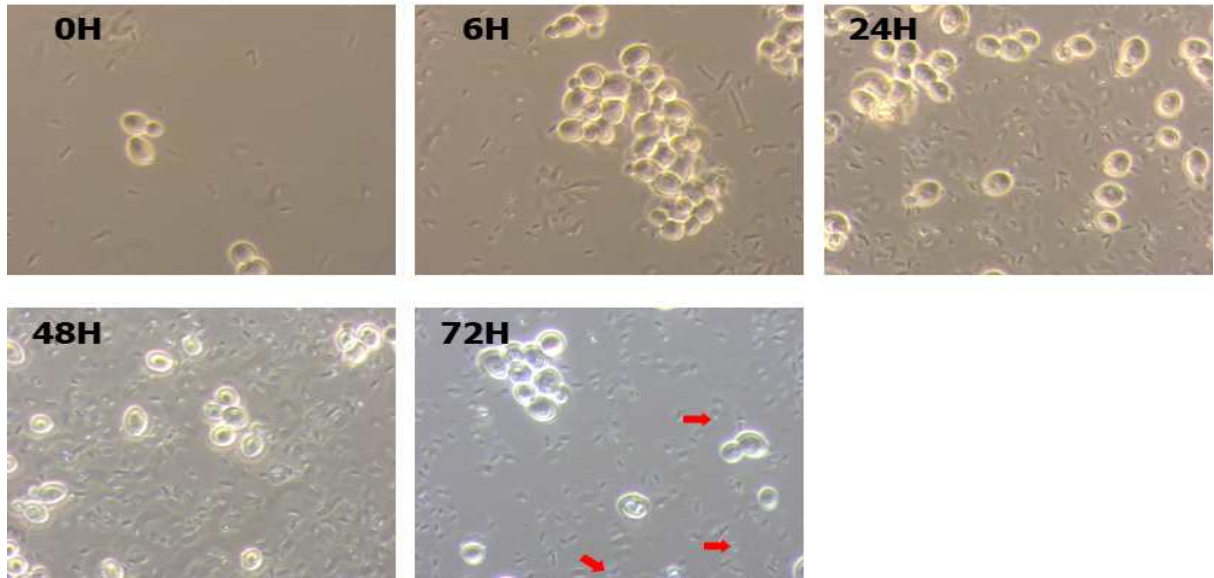


그림 47. CMM1 배지를 이용한 5L 발효조의 배양 연구 pilot-scale 대량 배양으로 scale-up 하는 과정에서 실험실 규모의 5리터 발효조를 이용하여 고농도 배양 연구를 수행함

- 현미경 관찰 결과 3종 미생물이 함께 배양됨을 확인 하였으며 48시간 시점에서 교반속도를 올려주는 방식으로 미생물에 스트레스를 유발하여 포자 형성을 유도한 결과 72시간 경과 시점의 현미경사진에서 약 5%비율의 포자를 확인 할 수 있었음
- 발효조 내 pH는 최초 pH 6.39에서 시작되어 배양 시작 6시간만에 pH 5.31까지 산성이 높아졌다가 48시간까지 이를 유지하였으며, 48시간 이후에 pH 6.5까지 중성 수준으로 바뀌어 이를 배양 종료 시점까지 유지함
- 시간별로 채취한 배양액을 흡광도(600nm)를 이용하여 성장도를 분석한 결과 최종 72시간 배양시간까지 꾸준하게 성장이 진행되어 OD600nm 20 수준까지 배양됨

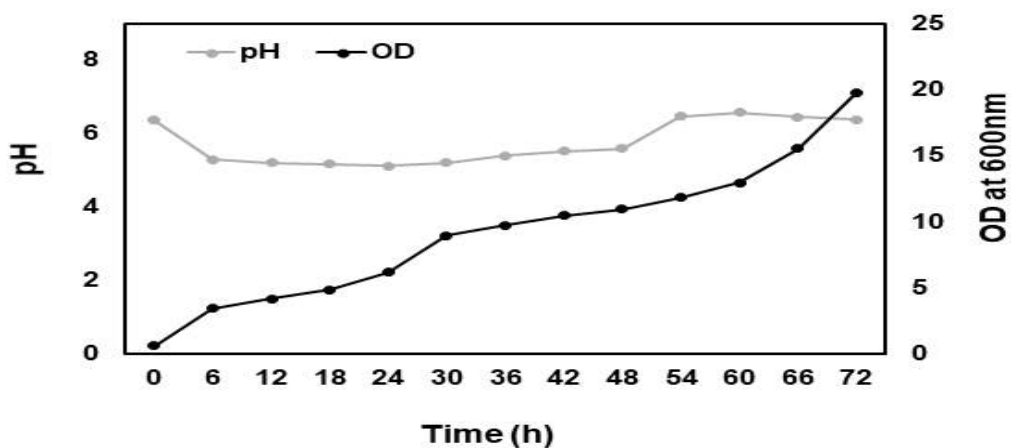


그림 48. 5L 발효조에서 수행한 3종 미생물 복합 배양 연구(CMM1배지) 시간별로 배양액을 채취하여 산도 변화(pH)와 성장도(흡광도)를 관찰함

- CMM1 배지를 이용한 5리터 발효조 배양연구에서 고초균, 유산균, 그리고 효모는 최대

10⁸~10⁹ cfu/ml 까지 고농도 배양됨을 관찰 할수 있었으나, 유산균의 비중이 매우 높았으며, 고초균은 최대 107 cfu/ml 수준에서 생균수가 더 증가되지 못하였음

표 36. CMM1 배지를 이용한 5L 발효조 생균수 측정 결과

(cfu/ml)	0 시간경과	24 시간경과	48 시간경과	72 시간경과
고초균	9.21×10 ⁶	4.21×10 ⁷	5.11×10 ⁷	3.04×10 ⁷
유산균	5.01×10 ⁶	6.01×10 ⁸	5.62×10 ⁹	5.03×10 ⁸
효모	6.12×10 ⁵	5.12×10 ⁶	3.06×10 ⁸	8.23×10 ⁹

- CMM1 산업배지를 이용하여 3종 혹은 2종 미생물을 복합배양하였을 경우, 현재까지 도출해 내지 못한 어떠한 이유로 인하여 배양 결과가 일정하지 못하였으며, 각 미생물의 비율 또한 상황에 따라 매우 다름을 확인함
- 따라서, 이어지는 연구에서는 CMM2 산업배지 조성을 이용하였고, 앞선 연구와 동일하게 5L 발효조 배양 연구를 수행함

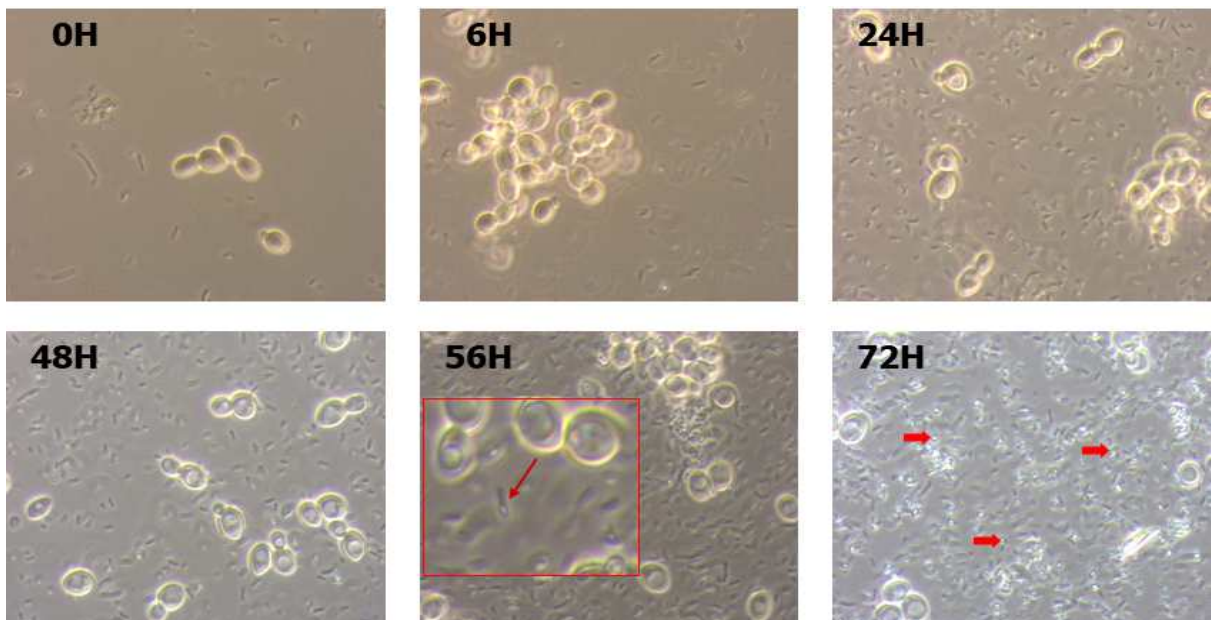


그림 49. CMM2 배지를 이용한 5L 발효조의 배양 연구 pilot-scale 대량 배양으로 scale-up 하는 과정에서 실험실 규모의 5리터 발효조를 이용하여 고농도 배양 연구를 수행함

- 현미경 관찰 결과 3종 미생물이 균일한 비율로 함께 배양됨을 확인하였으며 48시간 시점에서 교반속도를 200 rpm 으로 올려주는 방식으로 미생물에 스트레스를 유발한 결과 56시간 시

점부터 고초균이 포자를 형성하기 시작함

- 배양 종료 시점인 72시간에는 배양된 고초균의 90%이상이 포자로 생식환을 바꾼 것으로 관찰되었음
- 시간별로 채취한 배양액을 흡광도(600nm)를 이용하여 성장도를 분석한 결과 최종 72시간 배양시간까지 꾸준히 성장이 진행되어 OD_{600nm} 22.6 수준까지 배양됨
- 발효조 내 pH는 최초 pH 7.22에서 시작되어 배양 시작 6시간만에 pH 6.69까지 변동하였다가 배양 종료 시점인 72시간까지 꾸준히 상승하여 최종에는 pH 7.8까지 도달함을 확인함(그림 50)
- CMM2 산업배지를 이용한 5리터 발효조 배양연구에서 고초균, 유산균, 그리고 효모는 최대 10⁸~10⁹ cfu/ml 까지 고농도 배양할 수 있었음
- 이는 실제 생균수를 측정한 결과이며 최종 72시간 시점에서는 고초균은 3.03 X 10⁹ cfu/ml 까지, 유산균은 9.81 X 10⁸ cfu/ml 까지, 그리고 효모는 2.68 X 10⁸ cfu/ml 까지 생균수를 확인 할 수 있었음

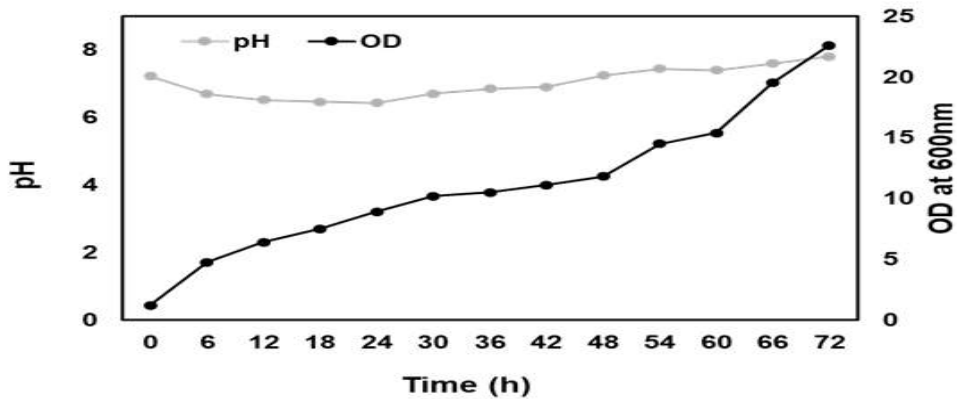


그림 50. 5L 발효조에서 수행한 3종 미생물 복합 배양 연구(CMM2배지) 시간 별로 배양액을 채취하여 산도 변화(pH)와 성장도(흡광도)를 관찰함

- Glucose가 2%로 첨가된 CMM2 산업배지에서 고초균과 유산균은 배양 시작 24시간만에 최대 생균수에 밀접한 수준으로 성장하였고, 효모는 48시간 경과 시점에서 최대 생균수에 도달하였음

표 37. CMM2 배지를 이용한 5L 발효조 생균수 측정 결과

(cfu/ml)	0 시간경과	24 시간경과	48 시간경과	72 시간경과
고초균	4.11×10 ⁶	5.02×10 ⁸	7.03×10 ⁸	3.03×10 ⁹
유산균	6.28×10 ⁶	7.03×10 ⁸	5.41×10 ⁸	9.81×10 ⁹
효모	7.02×10 ⁶	6.01×10 ⁶	6.03×10 ⁸	2.68×10 ⁸

○ 10톤 규모 3종 미생물 복합 대량배양 연구

- 축산 악취 제어에 탁월한 효능을 지닌 유용 미생물 고초균, 유산균, 그리고 효모의 복합미생물제제 생산을 위하여 산업화를 담보하는 3종 미생물 복합 대량배양 연구를 수행함
- 10톤 규모 발효조에서 복합배양을 위하여 5리터 발효조에서 수행한 고농도 배양 공정을 기초 하였으며, 교반속도는 40 rpm, 공기량 0.3vvm(7톤 기준 2.100 L/min), 온도 30도 조건으로 배양 조건을 설정함
- 대량 배양에 앞서 순차적으로 50ml에서 1L로, 이어서 100L 배양을 순차적으로 진행하여 배양 용량을 늘려주는 전배양(pre-culture)을 실시함

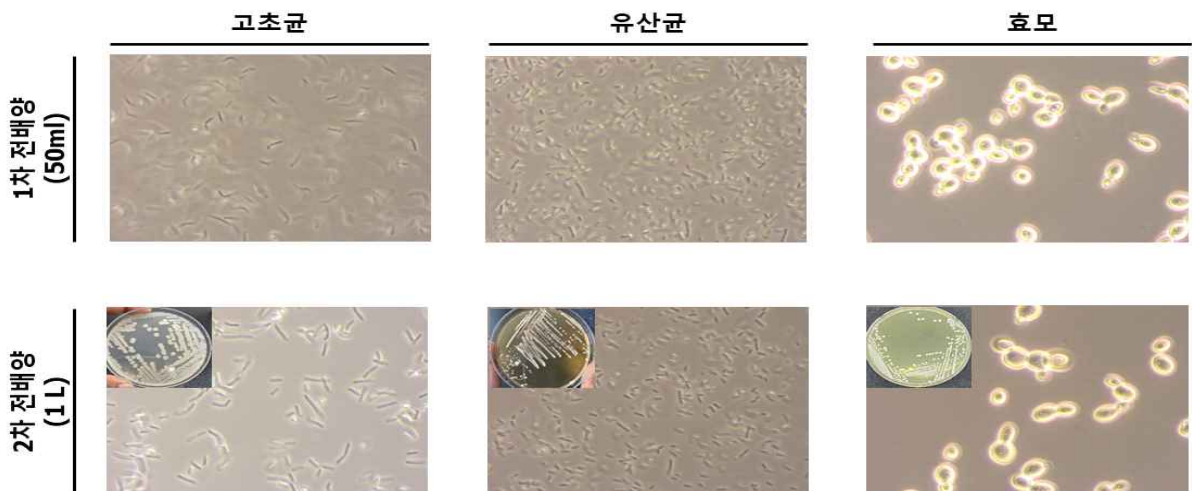


그림 51. 3종 미생물의 대량 복합 배양을 위한 전배양 상태 확인 순차적으로 진행된 전 배양 과정에서 3종 미생물이 안정적으로 배양되어가는 과정을 관찰함

- 각 순차적 배양 과정에서 배양체를 현미경 관찰하여 3종 미생물의 배양 상태와 비율, 오염도 등을 검토하였고, glucose 소모량을 함께 점검하여 10톤 발효조에서 각 미생물이 안정적으로 성장하도록 유도함

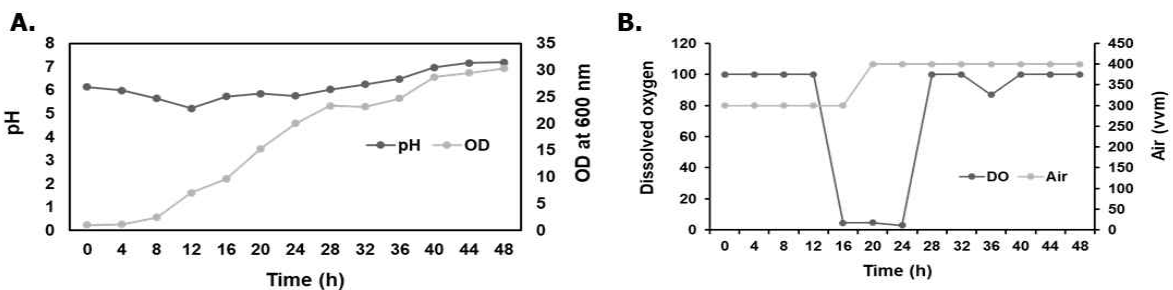


그림 52. 3종 미생물의 10톤 대량 복합배양. 축산 악취 제어 및 저감을 위한 복합미생물제제의 주요 성분이 될 3종 미생물의 성공적인 대량 복합배양을 위하여 시간별로 OD, pH, DO를 점검하였고, 상황에 따라 공기 유입량을 조절하였음

- 총 2일간 진행된 배양 과정중 시간별로 배양액을 수거하여 성장도를 검토하기 위한 OD_{600nm} 값과 pH 변화를 점검하였음
- 배양 종료 시점에서 OD_{600nm}는 최종 30.3이었으며, 최초 pH 6.13에서 시작된 산도는 12시간시점까지 pH 5.22로 약산성화 되었으며 이후 점진적으로 염기화 되어 최종 48시간에는 pH 7.19로 확인됨(그림 51)
- 발효조 내부의 DO(용존산소량)은 센서를 이용하여 매시간 단위로 점검함
- 3종 미생물의 대량 복합배양 개시 20시간 경과 시점에서 교반속도를 110 rpm으로 올렸으며, 산소 유입양도 400vwm까지 상승 조절하여 포자 형성을 유도하였음

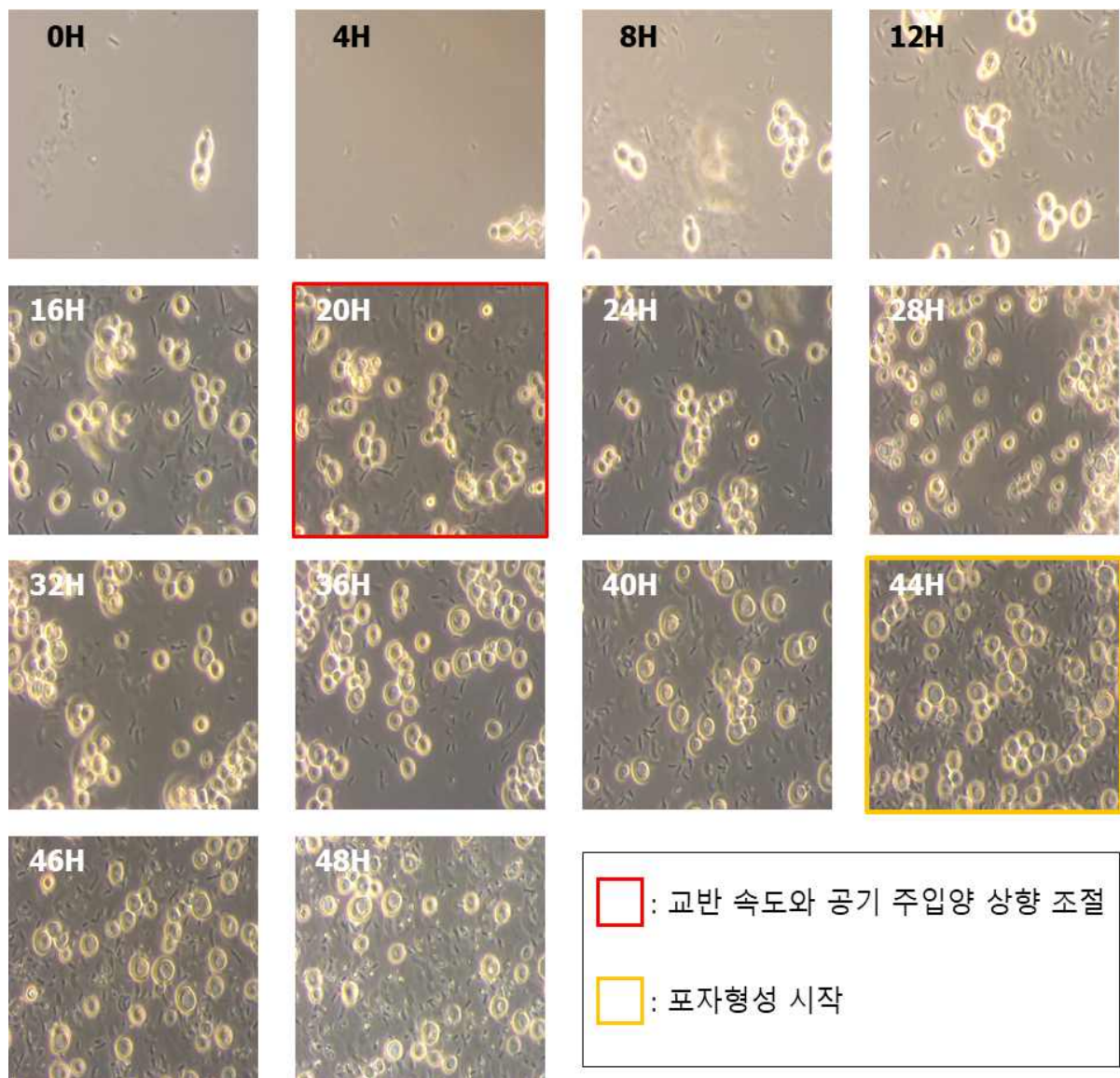


그림 53. 3종 미생물 대량 복합배양액의 시간별 현미경 관찰 결과. 2일간 진행된 배양기간 동안 정해진 시간에 배양액을 수거하여 현미경 관찰을 실시함. 각 미생물의 세포별 형태와 비율, 포자 형성 정도를 주의깊게 살펴보았으며 배양공정을 미세 조절하는 근거 자료로 활용함

표 38. 3종 미생물 대량 복합배양 결과

(cfu/ml)	0 h	12 h	24 h	36 h	48 h
고초균	3.50×10^6	1.91×10^7	3.20×10^8	8.11×10^8	2.00×10^9
유산균	1.25×10^7	2.52×10^8	2.88×10^8	4.40×10^8	1.03×10^9
효모	3.72×10^6	3.76×10^7	6.11×10^8	1.63×10^8	3.50×10^9

- 배양된 3종 미생물의 복합미생물제제 제작을 위한 포장 공정 전 마지막 시료를 수거하여 생균수 측정을 진행하였으며, 고초균은 2.00×10^9 cfu/ml, 유산균은 1.03×10^9 cfu/ml, 그리고 효모는 3.50×10^9 cfu/ml 생균수를 확인 할 수 있었음
- 대량 복합배양의 최적화 공정을 통하여 3종 미생물이 균일한 성장도와 비율한 성공적인 결과를 확보할 수 있었음



그림 54. 복합미생물제제 제작을 위한 3종 미생물 대량 복합배양 결과물 제형과정 성공적으로 완료된 3종 미생물 대량 복합배양 결과물을 축산 약취 제어용 복합미생물제제로 활용하기 위하여 액상과 분상으로 포장하여 보관하기로 결정하였고, 이를 위하여 제형 공정을 실시함

- 배양 공정이 완료된 3종 미생물은 향후 축산 약취 제어 연구와 보급을 위한 복합미생물제제로 제작하기 위하여 일부는 액상제제로 분류하여 포장하였고, 남은 일부는 DISK 원심분리기를 이용하여 농축과정을 진행함

< 액상 포장 (120L) >



< 분말 포장 (120kg) >



그림 55. 복합미생물제제의 액상 및 분말 포장 농축과 제형공정을 통해 3종 미생물의 복합 미생물제제 제품을 제작함

- 농축된 배양체에는 보존제를 혼합하여 포장 공정 및 보관 과정에서 미생물이 사멸하는 것을 방지함
- 열에 민감한 유산균의 특성을 고려하여 농축된 배양체(미생물)은 동결건조를 통해 충분히 수분을 제거한 후 분말화 공정 후 포장을 실시함
- 액상형태와 분말형태로 포장된 복합미생물제제는 저온고(4°C)에 보관하였으며 최대 보관연한을 검토하기 위하여 일주일 단위로 생균수 검정을 실시함
- 현시점까지 총 8주간 제품 품질 검정을 실시하였고 최초 생산 시점의 생균수가 지속적으로 유지됨을 검증함

표 39. 복합미생물제제의 보관연한에 대한 품질 검정

		(단위 : week)							
(cfu/ml)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
고초균	1.41×10^{10}	1.72×10^{10}	2.19×10^{10}	2.74×10^{10}	2.64×10^{10}	1.25×10^{10}	1.04×10^{10}	1.22×10^{10}	1.06×10^{10}
유산균	1.20×10^{10}	1.13×10^{10}	1.30×10^{10}	1.06×10^{10}	1.74×10^{10}	1.08×10^{10}	1.19×10^{10}	1.21×10^{10}	1.21×10^{10}
효모	1.66×10^{10}	2.89×10^{10}	2.55×10^{10}	1.26×10^{10}	1.24×10^{10}	1.08×10^{10}	1.12×10^{10}	1.03×10^{10}	1.11×10^{10}

가. 약취 저감용 복합미생물제제 대량생산 공정 개발 (연간 100톤 생산)

- 친환경 복합미생물제제 생산 공정 최적화 및 품질 규격화 연구
 - 다종 미생물 복합배양 조건 최적화 연구를 지속 수행함
 - 복합배양용 산업배지 CMM2의 개량을 통하여 3종 미생물을 단독 배양시 요구되는 배지 단가(12,025,600원/7ton/생산회차) 대비 절반 수준(6,021,300원/7ton/생산회차)의 경제적 산업배지를 확립함
 - 3종 미생물의 복합배양 결과, 3종 미생물 모두 10^9 cfu/ml 이상 생균수를 확보함 (고초균: 약 2.00×10^9 cfu/ml, 유산균: 약 1.03×10^9 cfu/ml, 효모: 약 3.50×10^9 cfu/ml)

Ingredients	Concentration (% w/v)
Glucose	2
Yeast extract	2
NaCl	0.15
K ₂ HPO ₄	0.25
Na ₂ CO ₃	0.05
MgSO ₄	0.1
HSP	0.2
Na ₂ HPO ₄	0.3



그림 56. 친환경 복합미생물제제의 양산용 배지 조성 및 배양 결과(현미경 관찰)

- 현 시점에서 복합미생물제제의 액상제형은 배양 공정의 단계 후 미생물 배양체와 배양액으로 구성되며, 분말제형은 배양-건조-분상-제형의 총 4가지 단계로 구성됨
- 배양단계에서 발효된 미생물은 농축 후 동결건조(균주 구성에 따라 분무건조로 변경 가능)를 통해 수분을 제거하고 분쇄장비를 통하여 상황별에 적합한 크기의 분제(원제)를 제작함
- 현장 상황 및 요구도에 따라 해조류 성분과 혼합하여 과립/제한/펠렛으로 제형이 가능하며 해조류 분말과 미생물제를 순차적 또는 분제로 혼합하는 형태로 친환경 복합미생물제제의 제작할 수 있도록 공정을 확립함
- 위 대량생산 공정을 통하여 최대 7톤 분량의 액상 복합미생물제제를 1회에 생산 가능하며 종균 접종에서부터 배양(전배양 및 발효), 건조, 농축, 제형의 공정이 1~2주 기간 내 생산됨
- 상황에 따라 교차 운용을 통해 최소 3달(14~15주)기간 내 100톤 규모 생산이 가능함
- 복합미생물제제의 생산과 관련한

○ 복합미생물제제 대량생산 플랫폼 구축

- 복합미생물제제 대량생산 공정 확립에 따른 연간 100톤 규모 생산을 위하여 본 연구팀은 아래와 같은 대량생산 플랫폼을 완비함
- 배양공정: 100L 발효조, 1.5ton 발효조(2대), 10ton 발효조, 10ton 저장조
- 농축공정: Tu-bular 원심분리기(4대), Di나 원심분리기, 추출농축기
- 건조공정: 동결건조기(300kg), 분무건조기(50kg)
- 제형공정: 분쇄기, 과립기, 더블콘혼합기, 혼합기, 오실레타, 제한기, 당의기, 펠렛기, 열풍건조기, 원적외선 건조기, 진동체 여과기, 자동계량 충전기

가. 친환경/천연물 약취저감 제제 생산 최적화

○ 친환경/천연물 약취저감제제 특성 연구

- 해조류 분말과 복합미생물제제를 활용한 S-masking 시스템 확립을 위하여 각 성분의 효능 특성에 대한 연구를 수행함
- 특히, 미생물제제의 경우에는 이미 많은 연구를 통하여 미생물을 활용한 약취저감 메커니즘이 많이 보고되어 있지만, 본 연구팀 고유의 기술인 해조류의 활용에 대한 약취제어 특성 연구는 미비함
- 향후 음식 폐기물 처리장, 산업 폐기물 처리장 등 다양한 약취발생 장소에서 해조류의 활용을 전면 검토하기 위하여 그 특성을 연구함
- 먼저, 돼지 분뇨에 도포된 해조류 분말의 시각적 변화에 대한 관찰을 실시함
- 해조류 분말은 수분이 제거된 건조한 상태이므로 돼지 분뇨에 도포될 경우 습윤한 환경에 노출되고 수분 흡수에 의한 성분 활성화로 분뇨의 상층 표면을 효과적으로 코팅하는 효과를 기대함

- 해조류 분말 처리 후 10일간 돼지 분뇨 상층 표면의 변화를 관찰한 결과, 시간이 누적됨에 따라 분뇨의 수분이 해조류에 흡수되어 공기층과 분뇨 사이에 딱딱한 고체 형태의 막이 형성되는 것을 관찰 할 수 있었음



그림 59. 해조류 분말 활성화에 따른 돼지 분뇨 표면 변화. 해조류 성분의 작용으로 돼지 분뇨 상층 표면의 코팅 효과를 관찰함

- 이어진 연구에서는 해조류 분말이 단순 표면 코팅에 의한 악취물질 차단 효과인지 혹은 해조류 성분에 의한 추가 작용이 수반되는지 여부를 확인함
- 돼지 분뇨 상층부에 해조류 분말을 도포하는 과정은 동일하게 진행하였으며 하나의 실험군에는 막대를 이용하여 분뇨층까지 구멍을 내어 악취원인물질의 확산을 유도함
- 총 10일간 1일 간격으로 암모니아와 아민의 농도를 측정함
- 결과적으로 상층부 전체 도포 유무와 상관없이 해조류 분말이 미처리된 대조군과 상대적으로 현격히 악취원인 물질이 제어됨

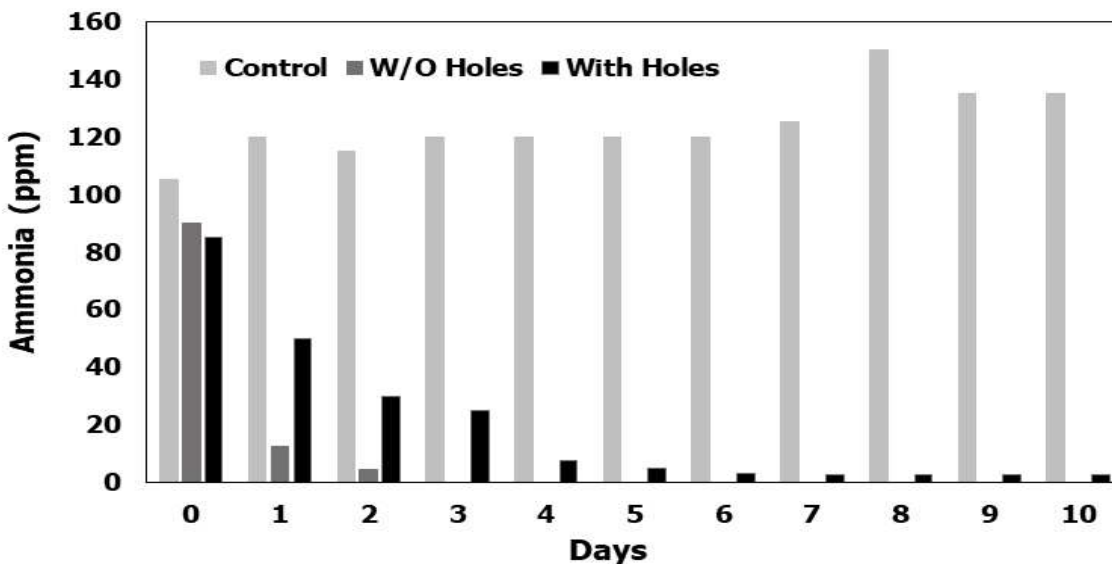


그림 60. 해조류 분말 활성화에 따른 암모니아 제어 효능 비교. 해조류 성분의 작용으로 악취 물질 차단 및 저해 효능을 연구함

- 암모니아에 대한 효능의 경우, 구멍을 만들지 않은 실험군이 1일째부터 높은 저감효능을 보여 3일째에는 거의 미검출 됨
- 구멍을 낸 실험군의 경우도 훌륭한 제어 효능을 보여주어 1일차에 약 40% 저감되었으며, 점진적으로 그 효능이 뚜렷하게 나타났음

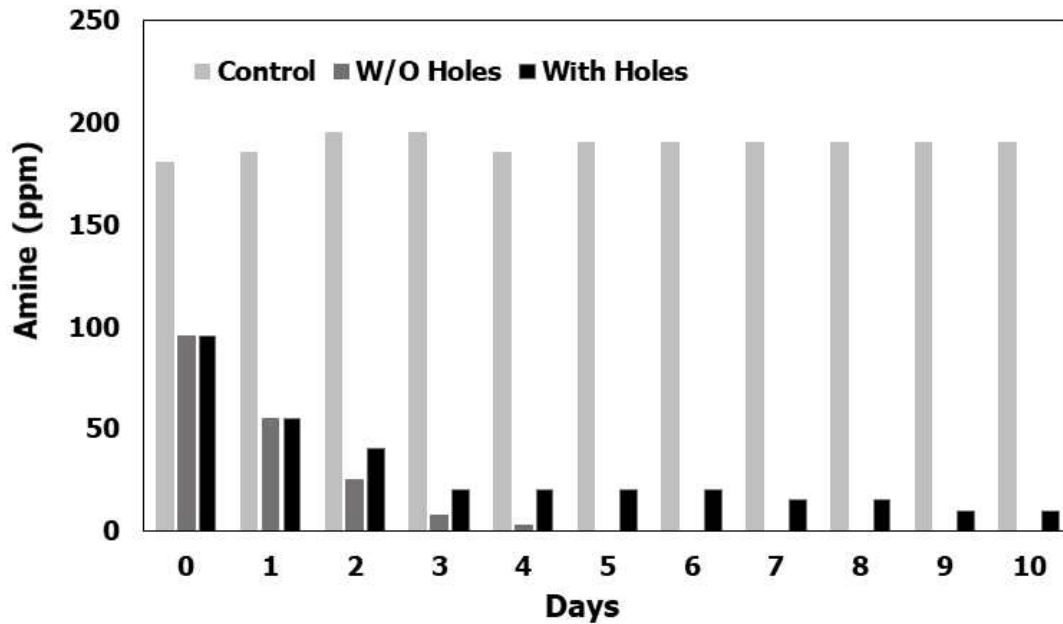


그림 61. 해조류 분말 활성화에 따른 아민 제어 효능 비교. 해조류 성분의 작용으로 약취 물질 차단 및 저해 효능을 연구함

- 아민에 대한 효능은 두 실험군 모두 유사하였지만 구멍이 없을 경우에 보다 확실한 저감 효능이 있었음
- 황화수소는 두 시료 모두 미검출됨

○ 해조류 분말 처리 후 pH 및 중금속 측정

- S-masking 시스템의 현장실증 연구를 위하여 약취 관련 민원이 주기적으로 제기된 정읍시 관내 10 곳의 돼지 농가 대표들과 다회에 걸친 협의를 진행함
- 협의 과정에서 S-masking 시스템 적용 장소에 대한 대화가 진행되었으며, 농가의 요청과 약취 강도 등을 고려하여 돼지 분뇨의 자원화를 위하여 모아두는 장소인 퇴비장에 우선 적용하는 방안을 모색함
- 현장 실증 연구를 위한 과정으로 친환경/천연물 복합미생물제제 처리에 대한 결과물로 돼지 분뇨의 약취저감 효능 검증을 비롯하여 분뇨의 성분 특성 변화에 대한 연구를 수행함
- 이는 추후 퇴비로 자원화가 진행될 경우 잔존하는 물질이 작물에 치명적인 위험 요소가 없음을 검증하기 위한 단계임
- 먼저, 해조류 분말 처리 유무에 따른 반응 후 시료를 채취 하여 각 성분을 비교 분석함

- 비교 요소로 pH, 질소(TN, total nitrogen), 인(TP, total phosphor), 유기탄소(TOC, total organic carbon), 총 탄소(TS, total solid), 중금속(Cd, Pb, Ni, Zn) 임
- 정확한 비교를 위하여 광주 소재의 분석회사 (주) 디엠이테크에 의뢰하였고, 그 결과를 정리함

표 40. 해조류 분말 처리 유무에 따른 각성분 비교

	pH	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TOC (mg/L)	TS (mg/L)	Heavy metals (mg/kg)			
						Pb	Cd	Zn	Ni
Control	8.06	4,067.5	144.2	5,460.0	3,428.6	*ND	ND	ND	0.03
Treat	7.45	14.5	16.3	56.3	145.0	ND	2.0	6.1	74.0

*ND: Not detected

- 해조류 분말 처리 유무에 따라 pH는 약 0.5 정도 차이가 발생되어 해조류 처리에 따라 중성적 성향으로 변동됨
- 유기탄소를 비롯한 질소, 인 등 잔존 성분의 변화가 두드러짐
- 중금속의 경우, 돼지 분뇨에서 미확인된 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 니켈(Ni)이 해조류 분말을 처리한 실험군에서 검출됨
- 하지만, 비료관리법에 근거한 중금속 함량의 규정에 미미한 수준임

○ 친환경/천연물 소재와 복합미생물제제 처리 후 휘발성 지방산 농도 측정

- 암모니아, 아민, 황화수소와 같은 대표적 악취 원인물질과 더불어 휘발성 지방산 또한 사람의 후각을 자극하는 악취원인 물질임
- 본 연구에서는 반응기의 상층부 공기를 포집하여 성분 정밀 분석을 수행함
- 비교 연구를 위하여 복합미생물제제 혹은 해조류 분말만 처리한 실험군과 이를 함께 처리한 실험군을 대상으로 연구를 수행함
- 정읍소재 돼지 농가에서 직접 채취한 돼지 분뇨 200 ml에 복합미생물제제를 혼합비에 맞춰 첨가 혹은 미첨가하고 멸균수 300 ml을 추가하여 최종 부피 500 ml을 동일하게 맞춰줌
- 해조류 분말을 돼지 분뇨의 2% 용량으로 상층부를 도포 혹은 미도포하였음
- 상온 조건과 유사한 환경 조성을 위하여 25℃로 항온이 유지되는 반응조를 이용하였으며 2

일간 반응 후 상층부의 공기를 포집함

표 41. 친환경/천연물 복합미생물제제 효능 평가를 위한 실험군 목록

Experimental label	Additive 1	Additive 2
Control	-	-
Test 1	-	1.5% <i>Bacillus subtilis</i> 1.5% <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 2.0% <i>Thiobacillus</i> sp.
Test 2	2% Seaweed	-
Test 3	2% Seaweed	1.5% <i>Bacillus subtilis</i> 1.5% <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 2.0% <i>Thiobacillus</i> sp.

- 분석결과는 아래 표와 같음

표 42. 휘발성 지방산 분석 결과

	Volatile fatty acids (ppm)						
	Acetic	Propionic	Isobutyric	Butyric	Isovaleric	Valeric	Isocaproic
Control	150.82	299.01	226.67	270.79	75.91	192.95	415.07
Test 1	2.83	79.61	33.29	22.50	ND	ND	69.82
Test 2	22.03	ND	ND	18.72	113.04	ND	99.42
Test 3	2.83	ND	8.45	22.50	ND	ND	ND

- 대조군의 경우 7종의 휘발성 지방산이 검출됨
- 복합미생물제제가 처리된 실험군은 대조군과 상대적으로 모든 수치가 감소되어 있었으며 공통적으로 아세트산, 이소발레르산, 발레르산, 이소카프로산에 제어에 효과적이었음
- 해조류 분말이 처리된 실험군도 대조군과 상대적으로 모든 수치가 감소되었으며, 프로피온산, 이소부틸산, 부틸산, 발레르산 제어에 매우 효과적이었음

- 해조류 분말과 복합미생물제제를 함께 처리한 실험군이 가장 효과적으로 모든 지방산을 제어하였음
- 장기간 지속적으로 휘발성 지방산을 제어 하는지 여부를 검토한 결과에서도 대조군은 반응 시간이 누적될수록 각 성분이 증가되지만, 실험군은 점진적 감소 혹은 유지되는 결과를 보여줌

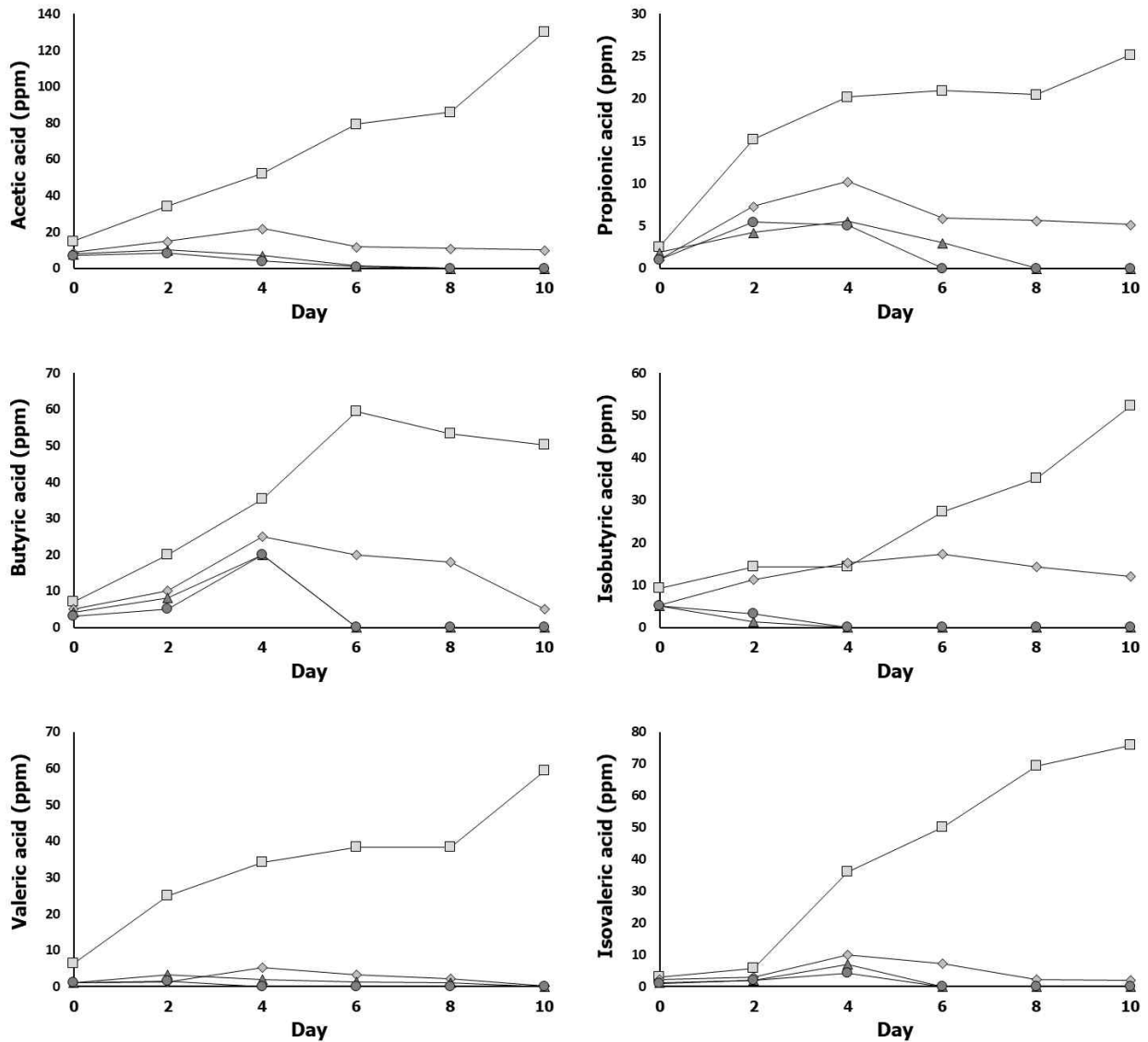


그림 62. 친환경/천연물 소재 복합미생물제제에 의한 지방산 제어 효능 평가. 돼지 분뇨에서 발생하는 휘발성 지방산 제어를 위하여 해조류 분말과 복합미생물제제를 활용함. □: Control, ◇: Test 1, ▲: Test 2, ●: Test 3

(2) 미생물 기반 축산 농가 내·외부 발생 악취 물질 분석
 가. 축산 농가 네트워크 구축 - 정읍시 에코 축산사업 연계

○ 실증연구를 위한 대상 농가 선정

- 축산 냄새의 대부분은 양돈농가와 분뇨처리장의 규모화가 주요 원인으로 보고되고 있으며, 특히 본 연구기관이 소재한 전라북도 정읍시는 축산 농가가 전국 1~2위로서 축산 악취에 대한 많은 민원으로 어려움을 겪고 있음

* 축산냄새 문제해결 위해 균형 있는 점검·비판이 필요하다. 우수 사례발굴이 필요하다(정읍신문, 2017)
 * 정읍시민 축산냄새로 고통...‘전국 제 2 축산도시’ 무색. 신태인읍 천단 포도마을 환불(전북일보, 2017)


- 축산 농가의 경우 악취 민원에 대한 심각성으로 인하여 연구진, 지자체 등에 대한 경계심이 높아 실증 실험을 위한 농가 섭외에 어려움이 있음
- 본 연구에서는 정읍시청 에코축산과와 협업을 통해 정읍시 관내 양돈 농장주에 대한 지속적인 설명회 등을 수행하였고, 축산 악취 저감을 위한 연구팀-축산농가-지자체를 포함하는 악취저감 네트워크를 구축하고자 함
- 대상 농가 선정은 악취 관련 민원이 발생 빈도가 높은 10개 농장을 선정하였음






성명	농장명	주소
1 이00	중앙농장	정읍시 북면 용복길 59-15
2 유00	유한피그	정읍시 북면 축현길 73-3
3 정00	신성농장	정읍시 소성면 등계리 878-2
4 최00	대덕농장	정읍시 덕천면 대덕길 37-9
5 손00	홍촌농장	정읍시 태인면 원낙양2길 22-3
6 김00	대원농장	정읍시 태인면 태산로 2858-48
7 박00	유성농장	정읍시 태인면 과학길 5
8 김00	우영농장	정읍시 이평면 각목길 16-1
9 안00	진농장	정읍시 신태인읍 양과리 226번지
10 서00	보민영농	정읍시 감곡면 옥학길 143

그림 63. 축산 농가 네트워크 구축을 위한 정읍시 관내 양돈 농장 선정.

○ 선정 농가의 축사 환경 및 미생물제제 사용현황 조사

농장명	사전조사 결과	
보민영농 	사육규모	7,000두 (일괄사육)
	양돈업 경력	20년
	미생물 사용유무	질화세균 슬러리 투입용 사용
	PSY	26두
	분뇨는 슬러리 및 액비 재순환으로 혼용하고 있으며 냄새 관리과 잘되고 있음	
신성농장	사육규모	5,000두 (일괄사육)
	양돈업 경력	10년(후계농)
	미생물 사용유무	생균제 0.3% 수준으로 사용
	MSY	24두

	<p>악성민원으로 고소 고발상태, 농장 부지경계선에 자동 악취 측정기 설치</p>	
<p>유성농장</p> 	<p>사육규모</p>	<p>3,000두 (일괄사육)</p>
	<p>양돈업 경력</p>	<p>7년(후계농)</p>
	<p>미생물 사용유무</p>	<p>생균제 0.2% 수준으로 사용</p>
	<p>MSY</p>	<p>21두</p>
	<p>민원으로 고소 고발상태, 마을 초입에 농가가 위치하고 있으며 민가와 100미터 거리에 위치하여 냄새관리 개선이 시급함</p>	
<p>중앙농장</p> 	<p>사육규모</p>	<p>4,000두 (일괄사육)</p>
	<p>양돈업 경력</p>	<p>18년(후계농)</p>
	<p>미생물 사용유무</p>	<p>생균제 0.05% 수준으로 사용</p>
	<p>MSY</p>	<p>25두</p>
	<p>환경개선을 위해 미생물 및 식물추출물 등을 이용하고 있으며 액비순환시스템을 활용하여 냄새관리가 잘 되고 있음</p>	
<p>유한피그영농조합</p> 	<p>사육규모 :</p>	<p>9,000두 (일괄사육)</p>
	<p>양돈업 경력</p>	<p>8년(후계농)</p>
	<p>미생물 사용유무</p>	<p>생균제 0.6% 수준으로 사용</p>
	<p>MSY</p>	<p>22두</p>
	<p>액상미생물 급여시스템과 고농도 생균제를 급여하고 있으며 일부 반슬롯 돈사의 악취문제 해결이 필요함</p>	
<p>대원농장</p> 	<p>사육규모</p>	<p>3,000두 (비육돈)</p>
	<p>양돈업 경력</p>	<p>30년</p>
	<p>미생물 사용유무</p>	<p>생균제 100만원/월 규모 사용</p>
	<p>액비순환시스템을 적용하고 있으며 시스템에 사용하는 미생물 첨가제가 고가로 부담이 되나 악취저감 효율은 좋음</p>	
<p>대덕농장</p> 	<p>사육규모</p>	<p>40,000두 (일괄사육)</p>
	<p>양돈업 경력</p>	<p>20년</p>
	<p>미생물 사용유무</p>	<p>생균제 0.3% 수준으로 사용</p>
	<p>PSY</p>	<p>20두</p>
	<p>분뇨는 농가주변 분뇨자원센터로 배출라인이 설치되어 이송</p>	

	되며 슬러리 및 액비 재순환으로 혼용하고 있으며 액비 생산관리자 배치되어 있음	
수농장 	사육규모	3,200두 (일괄사육)
	양돈업 경력	15년
	미생물 사용유무	함초제품(미네랄) 월 50만원 수준으로 사용
	MSY	21두
	슬러리 고착화로 분뇨처리가 곤란하며 돈사내부 냄새농도가 높아 생산성이 낮음	
우영농장 	사육규모	800두 (일괄사육)
	양돈업 경력	30년
	미생물 사용유무	생균제 1% 수준으로 사용
	MSY	17두
	자가발효 미생물, 효소제 및 생균제를 다량으로 사용하고 있으나 비용문제로 분뇨를 외부로 반출을 못하고 있어 돈사내부 냄새농도로 생산성이 낮음	
홍촌농장 	사육규모	1,500두 (일괄사육)
	양돈업 경력	12년
	미생물 사용유무	생균제 0.2% 수준으로 사용
	MSY	20두
	농장 현대화로 일부 환경이 개선되었으나 슬러리피트에 분뇨적재량이 많아 돈사 내부 가스농도가 높음	

- 사전 조사를 실시한 10개의 축산 농장을 분석한 결과, 모든 농장에서 미생물제제 또는 미네랄 성분의 악취저감제 등을 사용하고 있는 것으로 파악됨
- 개별 농장별 미생물제제의 사용량은 0.05%~1.0% 수준으로 최대투입 농장과 최저 투입 농장 간 약 20배가량 투입량 차이가 관찰됨
- 민원 발생 농장의 사전 조사 결과, 민원의 주요 원인으로서는 분뇨적재량 과다, 비용문제 등 외부 반출 불가, 슬러리 고착화 등의 문제점이 분석됨
- 주변 마을과의 거리(100m 이내) 위치 등 물리적인 원인이 있는 농장의 경우도 분석됨
- 사전 조사를 수행한 농장의 경우 농장주의 실증연구 참여에 대한 관심도의 차이가 있었음
- 특히, 민원 및 고발 등의 현안이 발생한 농장의 경우 실증 참여에 대한 부정적인 의견을 토로함

○ 선정된 축산농가의 사육 현황 및 민원 발생 조사

농장명	사육 형태	경영 형태	사육 두수	환기 처리	돈분뇨처리방식	민원	사료
보민영농	번식	단독	모든 630	무창	1주마다 수거	없음	무지개
신성농장	일관	단독	모든 430	반무창	업체에서 수거 및 살포	심각 (고소고발)	CJ
유성농장	일관	단독	모든 260	반무창	매일 업체수거	심각 (고소고발)	CJ
중앙농장	번식	단독	모든 400	무창	공공처리시설 수거	양호	CJ
유한피그 영농조합	일관	단독	모든 675	복합	고액분리 및 폭기	양호	CJ
대원농장	비육	단독	비육 3000	무창	수시로 업체수거	있음	CJ, 농협
대덕농장	일관	법인	모든 1500	무창	일부순환처리 및 액비생산	있음	도드람, 포스코 퓨리나, 도드람
수(진)농장	일관	단독	모든 250	복합	수시로 업체수거	양호	도드람
우영농장	일관	단독	모든 70	유창	슬러리지장소 보관 처리곤란	양호	아이엠팜
홍촌농장	일관	단독	모든 150	무창	공공처리시설 수거	양호	퓨리나

○ 사전조사 대상으로 선정된 축산농가의 사육 환경 조사

농장명	돈사내부 암모니아농도	돈사내부 아민농도	돈사내부 황화수소농도	외부 주관적 복합냄새	측사 외관조경형태
보민영농	10	40	nd	양호	양호
신성농장	20	100	nd	양호	양호
유성농장	38	120	nd	나쁨	나쁨
중앙농장	22	78	nd	양호	양호
유한피그 영농조합	42	100	nd	보통	보통
대원농장	18	78	nd	양호	양호
대덕농장		측정불허		나쁨	양호
수(진)농장	38	120	nd	보통	나쁨
우영농장	40	90	3	양호	나쁨
홍촌농장	20	80	1 이하	양호	양호

- 현황 조사 및 현장에서의 암모니아, 아민농도, 황화수소 및 주관적 복합악취를 조사한 결과 위 표와 같은 결과를 확보함

- 사전 조사 대상으로 선정된 10개 농장 중 신성농장, 유성농장, 유한피그영농조합, 대원농장, 우영농장, 총 5개 농장을 1차 시범 실증연구 대상 농장으로 선정함

○ 실증연구 대상농가 악취물질 정밀분석

- 정확한 악취물질 분석을 위하여 [시흥녹색환경지원센터]에 악취 공기 분석 의뢰하여 복합악취, 암모니아, 트리메틸아민, 황화합물류, 휘발성유기화합물류, 알데히드류, 축산악취물질 등 악취 원인물질에 대한 정밀 분석을 수행함

[별지 서식 SHGEC-QP-13-02]

시험분석결과서

시흥녹색환경지원센터
Seoung Green Environment Center

의뢰인	시흥녹색환경지원센터 연구팀	성적서 번호	SRN-18-P007
의뢰인		시료제출일자	2018년 10월 30일
		시료검수일자	2018년 10월 30일
		시료분석일자	2018년 10월 31일

검출물질	유한피그영농	유성농장	신성농장	유한농장
복합악취 휘발성수	5.054	5.000	10.000	14.422
암모니아	1.97	1.06	2.01	3.05
트리메틸아민	0.02	0.02	0.02	0.02
황화수소	37.6	183	304	2,140
메틸메르캅탄	0.06	0.06	0.06	0.06
다이메틸다이설파이드	0.06	0.06	0.06	0.06
메틸에틸케톤	3.68	7.92	4.89	3.37
벤젠	0.23	1.19	0.82	1.16
메틸이소부틸케톤	2.62	2.76	2.78	2.60
톨루엔	0.22	0.22	0.22	0.22
노르말부틸아세테이트	3.76	3.81	3.82	3.79
이소부틸알코올	4.33	8.05	8.36	8.24
에틸벤젠	2.82	2.63	2.58	2.66
p-자일렌	3.95	3.89	3.92	3.94
m-자일렌	4.58	4.55	4.56	4.53
o-자일렌	5.33	5.33	5.32	5.33
스티렌	8.09	7.87	7.59	7.81
퓨라펜톤	1.11	0.65	0.65	0.65
아세트알데히드	59.8	29.1	15.0	15.0
아크롤레인	0.49	0.49	0.49	0.49
아세트산	59.6	12.3	18.7	28.6
프로피온알데히드	8.63	4.57	5.12	3.35
부티르알데히드	0.62	0.62	0.62	0.62
펜탈알데히드	0.52	0.52	0.52	0.52
이소헥사알데히드	0.22	0.22	0.22	0.22
노르말헥사알데히드	0.65	0.65	0.65	0.65
아세트산	312	1,127	1,167	208
프로피온산	176	360	177	406
아이소부티르산	31.0	24.4	30.3	12.1
노르말부티르산	141	128	62.1	37.3
아이소펜타노산	20.8	14.3	21.3	4.44
노르말펜타노산	4.81	3.11	4.19	12.8
헥사노산	24.0	11.9	0.99	0.08
p-크레졸	1.11	60.2	37.3	71.3
인산	0.49	0.49	0.49	0.49
수산화	1.46	0.58	0.58	1.56

비고: 1) 저정확도 측정 농도단위 : $\mu\text{mol/mol}$ (암모니아 농도단위 : $\mu\text{mol/m}^3$)
2) 휘발성은 기상안화물류 중 성분 3) 기구류 및 밀봉류는 검출결과에 준함

시흥녹색환경지원센터
Seoung Green Environment Center

[별지 서식 SHGEC-QP-13-02]

시험분석결과서

시흥녹색환경지원센터
Seoung Green Environment Center

의뢰인	농촌진흥청농촌진흥연구소	성적서 번호	RRN-19-P0040-R6
의뢰인		시료제출일자	2019년 07월 23,24일
		시료검수일자	2019년 07월 24일
		시료분석일자	2019년 07월 24일

검출물질	유한피그영농	유한피그 비비사	하부농장
복합악취 휘발성수	5.000	6.463	144
암모니아	1.63	5.70	0.36
트리메틸아민	0.02	0.02	0.02
황화수소	99.3	138	77.8
메틸메르캅탄	3.02	3.02	3.02
다이메틸다이설파이드	0.06	0.06	42.5
메틸에틸케톤	1.15	1.49	1.66
벤젠	0.22	0.22	0.22
메틸이소부틸케톤	0.21	0.21	0.21
톨루엔	0.21	0.21	0.21
노르말부틸아세테이트	1.76	0.21	0.21
이소부틸알코올	0.22	0.22	0.22
에틸벤젠	0.49	0.49	0.49
p-자일렌	0.44	0.44	0.44
m-자일렌	0.76	0.44	0.44
o-자일렌	0.22	0.22	0.22
스티렌	1.33	0.22	0.22
퓨라펜톤	39.9	3.43	0.22
아세트알데히드	0.62	0.62	0.62
아세트산	27.9	12.0	6.54
프로피온알데히드	12.4	0.22	0.22
부티르알데히드	0.18	0.18	0.18
펜타알데히드	1.35	0.22	0.22
이소헥사알데히드	0.22	0.22	0.22
노르말헥사알데히드	0.22	0.22	0.22
아세트산	879	418	6.84
프로피온산	318	216	1.62
아이소부티르산	23.1	102	0.87
노르말부티르산	161	387	1.02
아이소펜타노산	20.1	94.9	0.22
노르말펜타노산	18.4	24.9	0.22
헥사노산	15.3	16.0	0.22
p-크레졸	58.5	12.0	0.22
인산	2.81	3.00	0.49
수산화	1.92	1.34	0.49

비고: 1) 저정확도 측정 농도단위 : nmol/mol (암모니아 농도단위 : mol/mol)
2) 휘발성은 기상안화물류 중 성분 3) 기구류 및 밀봉류는 검출결과에 준함

시흥녹색환경지원센터
Seoung Green Environment Center

가. 축산 농가 밀집 지역 내 악취 발생 및 악취 확산 모니터링

○ 실증 연구 확장을 위한 악취지도 작성

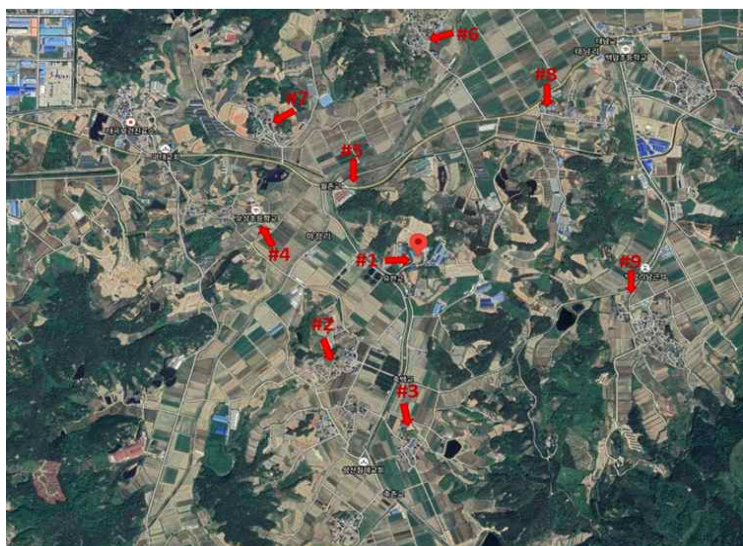
- 보급형 축산악취 검출 센서 제작과 이를 적용한 축산 농가 내 S-masking 시스템 도입을 목표로 실증 연구 예비 농가 인근에서 악취인자의 측정을 진행함
- 농가를 중심으로 농가 입구, 진입로에서 각 악취인자를 측정하였으며 기온 및 기후를 고려하여 주기적으로 측정함
- 악취지도 작성을 위한 측정 주기는 주관연구팀인 (재)농축산용미생물산업육성지원센터 연구팀의 복합미생물제제의 실증 연구기간을 이용하여 함께 진행함
- 아래의 악취지도는 향후 확립 될 악취물질 모니터링 시스템 결과의 시각화에 활용함



그림 64. 예비 실증 농가 주변 악취 지도 작성. 대상 농가와 진입로에서 지속적으로 악취 정도를 모니터링하여 복합미생물제제 처리에 대한 효과를 관찰함

○ S-masking 현장 적용을 위한 축산 농가 인근 악취 확산 지도 제작

- 본 연구팀이 고안한 S-masking 시스템의 활용은 축산 시설로부터 발생하는 악취에 대하여 농가 현장을 비롯한 인근의 주거시설 및 공공시설의 피해를 효과적으로 통제하는 것에 있음
- 현장에 적용되고 보급될 악취 제어 시스템을 개발하는 연구임에 따라 축산 농가와 인근 지역의 불편함에 대한 이해가 필요하였음
- 임의의 축산 농가를 중심으로 주거지역, 학교, 개활지 등 여러 개소를 선정하여 해당 지역의 공기 중에 유입된 악취 성분을 센서로 분석하는 연구를 수행함
- 이를 위하여 정읍시와 축산 농가의 협조를 받았으며 정읍시 북면 소재의 축산 농가 1개소(유한피그영농조합법인, 북면 축현길 73-3)를 중심으로 인근 8개소를 선정하여 주기적인 현장 분석을 실시함



Location	Detail address
#0: Negative control point	CIALM 241, Cheomdangwahak-ro
#1: Start point	Entrance of the Yuhan Farm 73-3, Chukhyeon-gil, Buk-myeon
#2: Village 1	Wonmajeong Village(원마정마을) 1172, Majeong-ri, Buk-myeon
#3: Village 2	Singi Village(신기마을) 799, Chukhyeon-ri, Chilbo-myeon
#4: School	Boseong Elementary School(보성초등학교) 681, Majeong-ri, Buk-myeon
#5: Behind of right side mountain	Road entrance to the Yuhan farm 1870, Majeong-ri, Buk-myeon
#6: Village 3	Won Oryu Village(원오류마을) 1559-1, Majeong-ri, Buk-myeon
#7: Village 4	Wolcheon Village(월전마을) 835-5, Majeong-ri, Buk-myeon
#8: Village 5	Jangjae Village(장재마을) 28, Jangjae-gil, Taein-myeon
#9: Village 6	Wonbaek Am Village(원백암마을) 1561-2, Baegam-ri, Chilbo-myeon

그림 65. 축산 농가 인근 지역의 악취 확산 지도 제작을 위한 현장 분석 연구 축산 농가를 중심으로 총 9개소를 선정한 후 해당 지역의 악취 물질 확산 지도 제작을 수행함

- 선정된 지역은 축산 농가를 중심으로 300m에서 1.5km까지 다양한 범위에 위치하며 언덕과 개활지가 공존하는 지역임

표 43. S-masking 현장 적용을 위한 축산 농가 인근 현장 환경 분석

#1: Start point	73-3, Chukhyeon-gil, Buk-myeon
#2: Village 1	원마정마을, 1172, Majeong-ri, Buk-myeon
#3: Village 2	신기마을, 799, Chukhyeon-ri, Chilbo-myeon
#4: School	보성초등학교, 681, Majeong-ri, Buk-myeon
#5: Behind of mountain	농장인근 진입로 입구, 1870, Majeong-ri, Buk-myeon
#6: Village 3	원오류마을, 1559-1, Majeong-ri, Buk-myeon

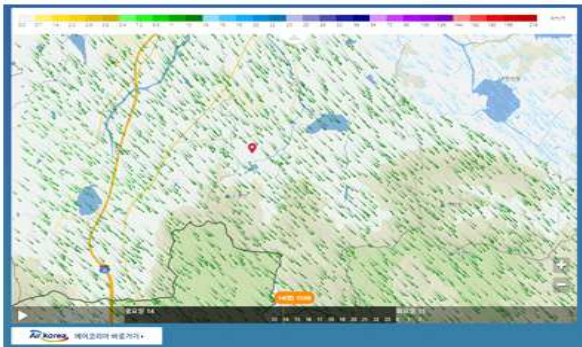
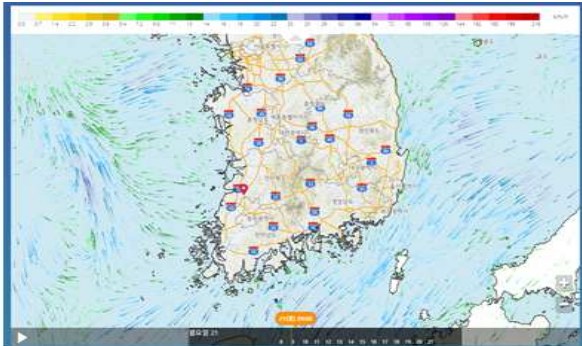
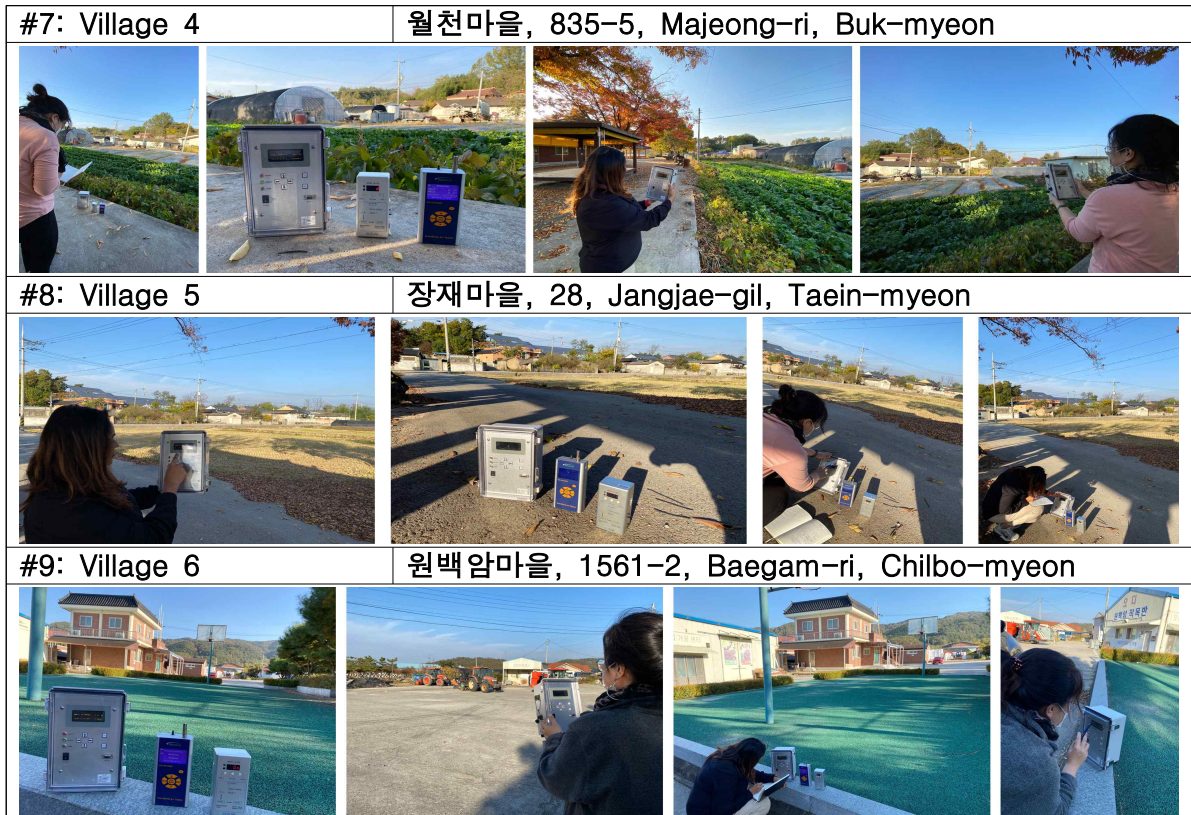


그림 66. 약취 확산 지도 제작을 위한 기후 분석 기상청 홈페이지와 기후 정보를 제공하는 매체를 이용하여 선정된 농장을 중심으로 정읍시 인근의 온도, 습도, 풍속, 풍향 등의 정보를 누적 확보 중임

나. 약취물질 정성/정량 분석 DB 제시 및 축산 약취 발생에 대한 기술/효능 증명

○ 축산 농가 악취 발생 현황 분석

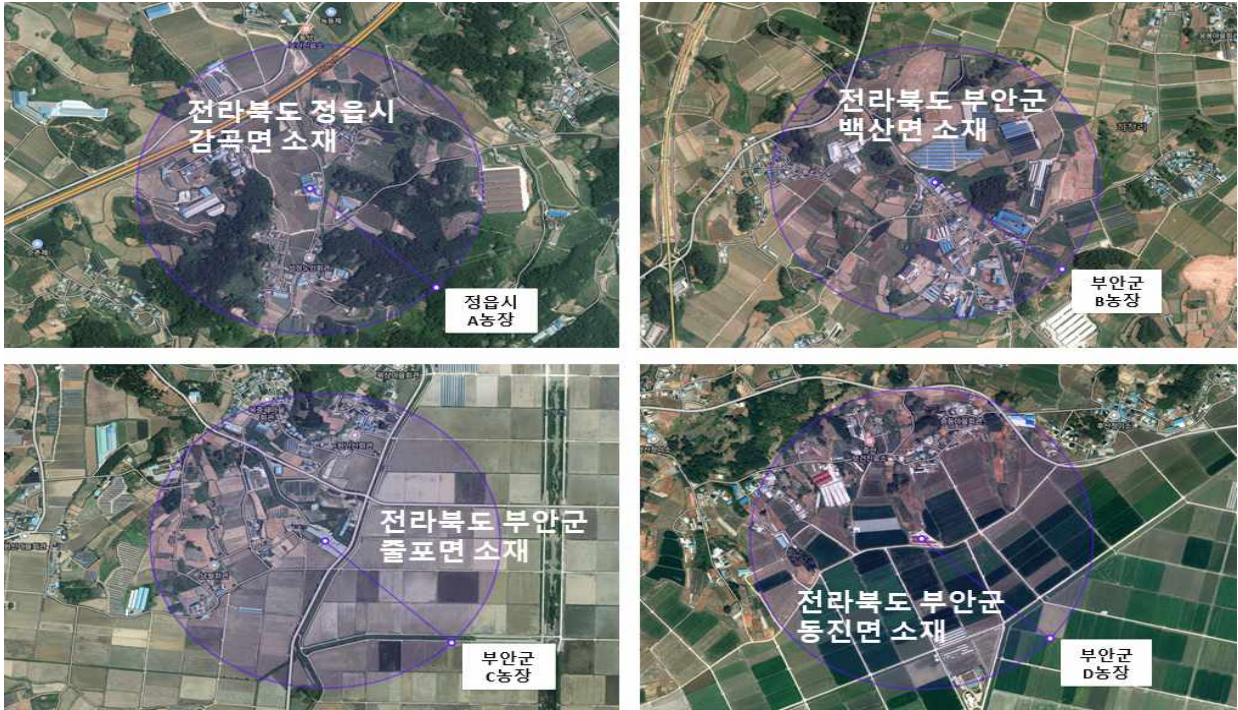


그림 67. 축산에서 발생하는 악취물질 정성/정량 분석을 위한 농가 선정

- 전라북도 정읍시와 부안군 내에 위치한 축산 농가 중 양돈농가 4곳의 협조를 받아 농장 내 악취 현황 및 민원 발생정도, 기타 특이 사항을 파악함

표 44. 양돈 농가의 악취물질 정성/정량 분석

구분	정읍시		부안군	
	A 농장	B 농장	C 농장	D 농장
사육두수	1,468 두	2,500 두	9,800 두	1,300 두
악취민원	많음	있음	없음	많음
암모니아	40ppm	22ppm	19ppm	44ppm
아민	120ppm	76ppm	80ppm	120ppm
초미세먼지 (PM 2.5)	114	226	127	110
미세먼지 (PM 10)	237	459	281	237
복합악취	860	690	591	541
외부악취	보통	보통	양호	양호
특이사항	시설 낙후에 의한 사양관리 미비	양돈단지, 비료공장 인접으로 악취 민원 발생	-	해안 바람에 의한 인접 마을 악취 피해 발생

- 선정된 전체 농가의 악취 모니터링을 주기적으로 실시한 결과 돈사 내부 암모니아는 평균적으로 약 25.86 ppm 수준 이었으나, 복합미생물제제 처리 후 약 53.52% 감소된 11.94 ppm으로 검출됨



그림 68. 복합미생물제제 처리 전/후 악취 물질 분석

- 아민 또한, 78.27 ppm에서 45.04 ppm으로 42.46% 저감되었으며 복합악취는 576 OL에서 468 OL로 18.60% 감소됨

표 45. 선정된 축산 농가별 평균 악취 물질 분석

구분	정읍시 A농장		부안군 B농장		부안군 C농장		부안군 D농장	
	외부	내부	외부	내부	외부	내부	외부	내부
암모니아(ppm)	3.37	23.44	3.80	14.32	1.53	2.81	2.00	20.71
아민(ppm)	18.23	82.60	15.98	50.26	5.59	9.44	7.00	68.33
복합악취(OL)	217.23	548.25	269.43	500.93	314.27	411.48	322.63	478.00
온도(℃)	25.50	26.86	24.76	25.97	24.08	24.22	21.83	23.78
습도(%)	64.27	84.22	74.47	88.65	76.86	87.16	71.33	91.72
미세먼지 PM10	60.90	81.38	75.76	99.05	82.20	100.08	74.50	141.32
초미세먼지 PM2.5	29.67	39.95	37.41	49.24	41.70	52.43	35.37	68.36

- 돈사 외부에서는 암모니아가 31.72%, 아민이 35,57%, 복합악취는 23.59% 저감된 효과를 도출할 수 있었음

표 46. 선정된 양돈 농가별 악취 물질 평균 감소량(%)

구분	정읍시 A농장		부안군 B농장		부안군 C농장		부안군 D농장	
	외부	내부	외부	내부	외부	내부	외부	내부
암모니아	52.67	43.27	61.23	62.93	28.00	36.53	0.00	63.94
아민	52.47	29.62	61.46	53.66	24.17	38.88	0.00	37.37
복합악취	18.57	13.17	35.46	25.45	0.85	8.46	22.23	13.37
미세먼지 PM10	-3.03	54.28	-71.28	-13.55	-40.13	29.54	-2.13	62.96
초미세먼지 PM2.5	-4.48	50.79	-35.80	-6.55	-47.92	21.85	-0.57	63.59

* 평균 감소량 산출식 : 100 - (측정 Data / 복합미생물제제 처리 전 Data × 100), - 표기는 증가 결과

표 47. 악취물질 정성/정량 분석 DB

구분	측정목록	정읍시 A농장		부안군 B농장		부안군 C농장		부안군 D농장	
		외부	내부	외부	내부	외부	내부	외부	내부
0주차	암모니아	5.00	48.33	9.33	21.67	2.00	3.50	2.00	28.33
	아민	8.00	103.33	28.33	78.33	5.00	12.50	15.00	90.00
	복합악취	178.00	668.00	319.67	554.00	302.50	441.50	296.00	531.33
	미세먼지	91.00	469.00	35.00	43.33	73.00	306.50	135.00	420.33
	초미세먼지	42.00	218.00	46.00	56.00	35.00	148.50	60.00	217.33
1주차	암모니아	5.00	29.00	4.00	43.56	1.00	4.33	4.00	43.33
	아민	0.00	85.00	24.33	97.78	5.00	12.00	7.00	96.67
	복합악취	252.00	633.33	344.00	666.89	344.00	344.67	150.00	338.67
	미세먼지	66.00	91.33	64.33	152.22	82.00	101.00	61.00	99.33
	초미세먼지	32.00	43.33	29.33	70.44	39.00	46.67	29.00	48.67
2주차	암모니아	19.00	37.33	10.00	38.44	1.00	3.00	0.00	90.00
	아민	60.00	120.00	41.00	102.78	5.00	7.67	3.00	120.00
	복합악취	216.00	609.33	386.33	660.11	435.00	382.67	237.00	454.00
	미세먼지	53.00	49.33	51.00	79.44	73.00	83.67	47.00	493.00
	초미세먼지	25.00	23.33	25.33	39.78	38.00	41.00	23.00	240.00
3주차	암모니아	1.00	36.33	6.00	32.56	1.00	5.00	4.00	40.00
	아민	22.00	120.00	48.33	105.78	5.00	20.33	8.00	113.33
	복합악취	234.00	581.67	421.33	671.00	183.00	469.67	712.00	622.67
	미세먼지	74.00	107.33	18.67	27.00	16.00	94.33	106.00	432.00
	초미세먼지	37.00	49.33	9.33	13.00	8.00	46.00	56.00	200.00
4주차	암모니아	0.00	32.30	8.67	17.00	5.00	4.33	0.00	20.00
	아민	72.00	120.00	14.67	72.89	15.00	17.33	2.00	76.00
	복합악취	405.00	587.00	457.33	638.67	318.00	575.00	585.00	743.00
	미세먼지	13.00	26.00	62.00	134.78	64.00	78.33	17.00	42.00
	초미세먼지	7.00	12.30	30.00	49.78	29.00	38.33	8.00	21.00
5주차	암모니아	0.00	33.00	3.00	22.67	8.00	7.00	1.00	25.00
	아민	0.00	120.00	6.33	66.33	30.00	30.00	3.00	97.00
	복합악취	150.00	599.00	448.33	596.33	258.00	295.00	144.00	665.00
	미세먼지	30.00	49.00	23.00	34.00	31.00	31.00	37.00	102.00
	초미세먼지	15.00	24.00	11.00	15.67	16.00	15.00	18.00	49.00
6주차	암모니아	0.00	32.70	3.00	22.67	5.00	3.00	0.00	17.00
	아민	0.00	107.30	6.33	66.33	16.70	10.00	2.00	73.00
	복합악취	138.00	566.70	448.33	596.33	512.00	445.00	219.00	690.00

	미세먼지	6.00	17.00	23.00	34.00	114.00	99.00	10.00	62.00
	초미세먼지	3.00	8.70	11.00	15.67	53.00	49.00	5.00	29.00
7주차	암모니아	10.00	24.30	3.33	12.20	4.00	4.00	0.00	25.00
	아민	38.00	82.70	20.00	50.20	10.00	10.00	2.00	87.00
	복합악취	421.00	640.30	206.67	529.90	315.00	315.00	130.00	710.00
	미세먼지	30.00	43.00	186.00	203.23	309.00	309.00	27.00	99.00
	초미세먼지	15.00	21.00	87.33	99.00	151.00	151.00	13.00	49.00
8주차	암모니아	6.00	19.30	0.67	11.57	2.00	2.00	0.00	12.00
	아민	60.00	60.30	5.33	46.90	6.00	5.70	2.00	40.00
	복합악취	221.00	649.00	176.33	557.00	265.00	494.30	252.00	528.00
	미세먼지	49.00	54.70	67.00	80.00	90.00	58.00	27.00	85.00
	초미세먼지	24.00	26.70	33.00	39.33	43.00	42.00	14.00	42.00
9주차	암모니아	18.00	18.30	3.00	12.20	2.00	4.00	4.00	22.00
	아민	82.00	107.30	19.60	48.70	10.00	10.70	15.00	107.00
	복합악취	617.00	693.30	359.70	584.30	409.00	433.70	919.00	595.00
	미세먼지	329.00	319.30	115.00	121.30	90.00	85.70	253.00	373.00
	초미세먼지	145.00	147.70	55.70	56.30	43.00	42.00	125.00	176.00
10주차	암모니아	0.00	22.67	5.00	10.22	2.00	4.67	5.00	20.00
	아민	8.00	47.67	12.67	37.89	8.00	15.00	10.00	85.00
	복합악취	170.00	507.33	153.67	431.56	425.50	398.17	560.00	591.00
	미세먼지	5.00	17.00	14.33	16.78	25.00	26.67	53.00	75.00
	초미세먼지	3.00	8.67	7.00	8.44	12.00	12.67	26.00	36.67
11주차	암모니아	0.00	12.33	4.00	7.00	3.00	3.00	1.00	17.33
	아민	0.00	582.33	21.67	37.44	7.00	8.33	5.00	68.33
	복합악취	335.00	532.33	289.67	357.33	442.00	362.67	277.00	540.00
	미세먼지	77.00	98.33	108.33	115.11	89.00	91.00	159.00	168.00
	초미세먼지	36.00	48.00	55.00	54.33	42.00	43.00	72.00	79.67
12주차	암모니아	4.00	14.33	4.33	7.89	2.00	4.33	5.00	19.33
	아민	30.00	70.00	7.67	24.56	5.00	6.33	10.00	86.67
	복합악취	492.00	529.00	173.00	286.67	420.00	495.33	350.00	495.67
	미세먼지	293.00	194.00	84.67	88.33	291.00	326.67	101.00	180.67
	초미세먼지	141.00	95.33	40.67	42.56	138.00	155.00	49.00	85.00
13주차	암모니아	0.00	19.33	4.33	15.11	2.00	3.33	5.00	15.00
	아민	2.00	81.00	16.67	63.11	5.00	8.33	15.00	62.67
	복합악취	202.00	582.00	340.00	546.00	393.00	385.00	135.00	451.00
	미세먼지	62.00	72.00	41.00	56.33	69.00	68.33	13.00	25.67
	초미세먼지	30.00	34.00	20.00	27.22	36.00	34.00	7.00	13.33
14주차	암모니아	0.00	13.33	3.33	9.44	2.00	1.67	5.00	15.00
	아민	2.00	51.67	14.33	37.67	5.00	5.00	15.00	62.67
	복합악취	161.00	545.33	326.00	584.17	345.00	465.67	135.00	451.00
	미세먼지	56.00	66.33	74.67	87.00	21.00	24.00	13.00	25.67
	초미세먼지	26.00	32.33	38.00	42.11	11.00	11.67	7.00	13.33
15주차	암모니아	0.00	11.33	2.67	11.89	2.00	3.67	2.00	16.00
	아민	0.00	46.00	7.00	43.11	5.00	7.67	5.00	66.00
	복합악취	120.00	508.67	312.00	622.33	386.00	472.00	298.00	408.67
	미세먼지	88.00	101.67	111.33	109.56	120.00	105.00	33.00	58.67
	초미세먼지	41.00	64.67	54.67	52.78	54.00	49.33	15.00	28.67
16주차	암모니아	0.00	16.33	3.33	18.78	0.00	1.00	1.00	12.67
	아민	10.00	77.33	21.67	68.00	4.00	5.00	3.00	51.33
	복합악취	165.00	557.00	318.67	596.11	438.00	493.67	132.00	333.00
	미세먼지	16.00	23.33	13.33	12.22	211.00	88.67	0.00	20.33
	초미세먼지	33.00	48.33	6.67	12.56	101.00	42.67	0.00	10.00
17주차	암모니아	5.00	14.33	2.67	11.33	1.00	1.67	5.00	12.67
	아민	0.00	50.67	10.33	44.78	5.00	5.67	10.00	56.67

	복합악취	250.00	672.00	310.67	583.33	375.00	431.67	961.00	452.67
	미세먼지	5.00	34.33	117.67	105.11	3.00	16.33	110.00	109.67
	초미세먼지	3.00	16.33	55.67	51.22	2.00	8.00	52.00	53.33
18주차	암모니아	0.00	16.00	3.33	8.00	1.00	1.67	1.00	11.67
	아민	0.00	68.00	13.67	25.67	5.00	5.67	6.00	48.00
	복합악취	118.00	558.00	231.33	434.67	361.00	410.67	142.00	239.33
	미세먼지	0.00	6.67	10.00	13.78	65.00	129.00	56.00	58.67
	초미세먼지	0.00	6.67	5.67	6.89	30.00	62.33	26.00	28.67
19주차	암모니아	0.00	12.33	0.00	5.00	0.00	1.67	1.00	7.33
	아민	0.00	55.00	0.67	17.56	4.00	5.00	6.33	24.67
	복합악취	143.00	482.33	92.00	318.11	332.00	398.83	273.00	227.33
	미세먼지	45.00	28.33	103.67	115.11	97.00	103.00	96.00	94.67
	초미세먼지	22.00	13.67	50.67	55.33	47.00	51.33	46.00	44.67
20주차	암모니아	0.00	18.67	4.00	6.89	0.00	4.33	0.00	10.00
	아민	2.00	63.33	4.67	21.00	4.00	9.67	2.00	40.00
	복합악취	145.00	549.00	141.33	63.44	303.00	387.00	153.00	233.67
	미세먼지	8.00	15.67	39.67	63.44	1.00	0.67	100.00	80.67
	초미세먼지	4.00	7.67	24.67	30.00	1.00	0.67	49.00	39.33
21주차	암모니아	0.00	17.00	1.67	10.67	0.00	0.00	6.00	13.33
	아민	2.00	62.67	3.67	44.67	0.00	3.33	2.00	53.33
	복합악취	207.00	445.33	155.00	431.33	276.00	338.00	190.00	373.00
	미세먼지	139.00	128.67	134.00	156.78	103.00	100.67	115.00	119.33
	초미세먼지	67.00	60.00	62.00	126.56	46.00	51.33	58.00	56.33
22주차	암모니아	5.00	9.00	0.68	10.22	0.00	0.33	0.00	8.67
	아민	10.00	33.33	3.33	38.11	2.00	3.67	5.00	33.67
	복합악취	208.00	369.00	168.00	415.11	257.00	254.67	185.00	316.33
	미세먼지	39.00	41.00	60.67	65.67	81.00	79.33	120.00	115.00
	초미세먼지	19.00	19.67	29.00	31.11	38.00	37.00	53.00	55.00
23주차	암모니아	0.00	10.33	0.00	8.33	0.00	0.00	1.00	9.67
	아민	0.00	39.33	12.67	29.78	1.00	3.67	6.00	38.00
	복합악취	112.00	354.33	246.67	271.67	218.00	289.67	84.00	322.33
	미세먼지	5.00	8.67	64.00	64.11	24.00	29.33	7.00	17.67
	초미세먼지	3.00	4.67	31.00	31.56	11.00	14.33	4.00	9.00
24주차	암모니아	4.00	22.33	5.33	10.75	0.00	0.33	0.00	13.33
	아민	10.00	86.00	15.67	53.22	0.00	5.00	7.00	51.00
	복합악취	62.00	447.67	160.33	433.00	183.00	374.00	67.00	384.00
	미세먼지	27.00	36.67	33.33	42.33	41.00	80.33	41.00	48.00
	초미세먼지	13.00	17.33	16.33	20.22	20.00	38.00	19.00	24.33
25주차	암모니아	5.00	27.00	5.67	14.67	0.00	0.67	5.00	17.00
	아민	63.00	113.33	30.00	63.00	0.00	5.00	20.00	70.67
	복합악취	233.00	479.67	165.00	498.44	141.00	350.00	122.00	447.00
	미세먼지	29.00	36.33	83.00	116.00	27.00	34.00	79.00	97.67
	초미세먼지	14.00	17.33	38.67	54.11	13.00	16.67	37.00	46.33
26주차	암모니아	6.00	21.00	1.33	6.00	0.00	0.00	0.00	14.67
	아민	43.00	104.67	3.33	22.11	0.00	2.00	0.00	44.00
	복합악취	126.00	534.67	128.00	282.89	183.00	314.00	139.00	505.67
	미세먼지	92.00	94.00	147.67	271.78	46.00	81.17	91.00	102.33
	초미세먼지	41.00	46.67	67.67	132.22	75.00	161.33	41.00	48.33
27주차	암모니아	1.00	31.67	0.00	8.22	0.00	2.67	0.00	13.00
	아민	18.00	116.33	20.00	40.67	0.00	11.33	5.00	38.33
	복합악취	192.00	498.67	215.67	487.78	163.00	513.33	643.00	651.00
	미세먼지	66.00	99.00	126.08	222.00	65.00	128.33	159.00	307.00
	초미세먼지	31.00	48.00	54.00	93.72	30.00	63.33	71.00	145.33
28주차	암모니아	0.00	37.00	4.33	12.33	0.00	4.00	0.00	25.00

	아민	0.00	113.33	19.67	46.33	0.00	13.33	3.00	95.00
	복합악취	127.00	534.00	271.67	552.67	215.00	514.67	817.00	567.00
	미세먼지	23.00	73.00	113.17	169.44	31.00	88.00	20.00	43.67
	초미세먼지	11.00	34.67	54.92	65.86	34.00	40.33	10.00	22.00
29주차	암모니아	7.00	46.00	4.67	9.89	0.00	5.00	1.00	27.33
	아민	5.00	120.00	5.00	23.00	0.00	18.00	9.00	74.00
	복합악취	117.00	533.67	385.67	550.11	230.00	499.00	240.00	488.67
	미세먼지	11.00	43.33	83.67	116.33	114.00	155.33	29.00	128.67
	초미세먼지	7.00	21.00	40.33	55.22	55.00	74.00	14.00	61.67

(3) 맞춤형 악취물질 제어/저감 확산 방지 시스템(S-Masking) 개발

가. 폐 해조류를 활용한 축산 악취물질 확산방지 제제 개발

○ 해양 폐 해조류 현황 조사

- 우리나라 연안에서 발생하는 해조류 과증식에 대한 피해를 체감하며 비상업성의 폐해 조류에 대한 어민들의 고충을 파악함
- 본 연구팀이 방문한 완도는 김, 전복, 미역 등 해양 양식 사업이 주 경제원으로 이른 봄에 급속도로 과증식되는 갯생이모자반에 대한 피해가 큰 지역 중에 하나임
- 어민계가 형성된 완도군 연안의 해안가를 돌며 양식장 주변과 해안가, 방조제 등을 답사함



그림 69. 완도 연안 부둣가에 야적된 폐 해조류 상황. 양식장 주변을 비롯하여 어선 및 여객선의 이동 경로 상에 부유되는 갯생이모자반을 수거해 둔 모습

- 현지 주민의 말에 의하면 바다에서 수거해 온 폐해조류는 생물 폐기물 처리에 소요되는 비용상의 문제로 그림 69와 같이 해안가와 부둣가에 야적해 둬
- 야적된 폐해조류는 부패되어 악취가 발생되어 인근에 거주하는 주민의 생활권을 침해하며 주변 경관을 해쳐 방문객의 발길을 돌리게 하는 부정적 요소로 작용됨



그림 70. 폐 해조류 근접 사진 및 시료 채취. 야적된 폐해조류를 수거하여 연구에 활용함 (A) 반부패된 폐해조류 상태, (B) 해안가 갯생이모자반 (C) 시료 채취

- 실제로 야적된 폐 해조류에서 부패가 시작되어 부둣가 인근에서 썩은 냄새가 퍼져 있었음
- 육안상으로 관찰 할 수 있듯, 수거된 폐해조류에는 해양 쓰레기가 한데 엉켜 있었음

- 현지 주민과의 네트워크를 형성하는 한편으로 야적된 폐 해조류를 일부 수거하였으며 방파제 측면에서 닻줄에 엉켜있는 모자반을 회수하여 연구에 활용함
- 수거한 모자반은 바다에서 바로 수거하여 신선한 것과 부룻가에 야적되어 부패가 시작된 것으로 구분하여 태양 건조 및 열풍 건조를 수행함



그림 71. 채취한 시료를 이용한 약취저감 제제 시료 제작. 완도 연안에서 수거한 모자반을 건조과정을 통해 수분을 제거하고 이를 분쇄하여 분말 제제를 제작함 (A) 부패가 시작된 모자반 시료 건조, (B) 신선한 모자반 시료 건조 (C) 분말 제형 제작

- 부패가 시작된 모자반의 경우 녹아 내려 엉킨 덩어리의 모습이 관찰되었으며 색상도 희뿌연 회색을 이룸
- 신선한 모자반의 경우 짙은 녹색으로 모자반 줄기의 형태가 선명하였음
- 건조된 각 시료로부터 제작한 분말제형은 축산 약취저감 연구에 활용하는 한편으로 분말 제형화 공정을 위한 초기 연구 소재로 활용함

○ 해조류 종류별 약취저감 효과 비교 연구

- 연구팀의 S-masking 시스템은 축산 약취제어를 위하여 복합미생물제제의 사용과 더불어 갯생이모자반과 같은 상업적 가치가 떨어지는 폐해조류를 대상으로 함



그림 72. 연구에 사용된 해조류 분말. S-masking 시스템 확립을 위하여 다양한 해조류를 대상으로 약취제어 효능을 비교 분석함. (A) 모자반, (B) 파래, (C) 김, (D) 미역

- 본 연구에서는 친환경/천연물 약취저감 제제 생산 최적화의 일환으로 다양한 해조류의 약취제어 효능을 비교하여 S-masking 시스템에 적용 가능성을 평가함
- 이를 위하여 4종의 해조류 분말(모자반, 파래, 김, 미역)을 확보함

- 정읍소재 돼지 농가에서 직접 채취한 돼지 분뇨 200 ml에 멸균수 300 ml을 첨가하여 최종 부피 500 ml을 동일하게 맞췄으며, 각 해조류 분말을 도포하여 악취 물질 제어 효능을 비교함
- 상온 조건과 유사하게 25℃로 항온이 유지되는 반응조를 이용하여 반응 초기, 1시간, 2시간, 24시간, 그리고 48시간에 대한 악취물질 제어 정도를 상호 비교함

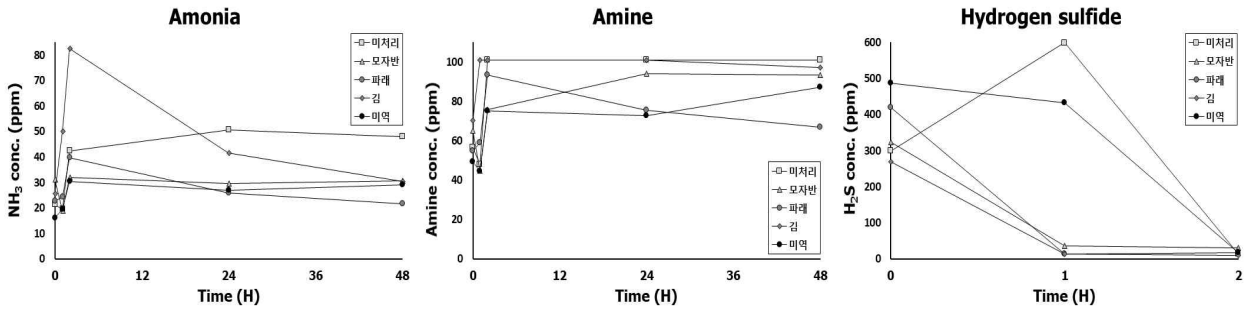


그림 73. 해조류 종류별 악취저감 효능 평가. 김, 모자반, 파래, 미역을 분말 제형화하여 악취 제어 효능을 상호 비교함

- 농수산 자연 시료의 제형 공정에 일반적으로 사용되는 자연건조와 열풍건조를 통해 수분을 제거하고 분쇄 장비를 통해 분말 제형을 만든 각 시료의 경우 본 연구의 주관 연구기관의 결과와 상이하였음
- 4종 해조류 분말 모두 2% 농도를 사용하였으나 악취물질 제어 효능이 매우 미미 하였음
- 본 연구팀은 이를 해조류의 건조와 분쇄 공정에서 발생된 높은 열에 의해 악취제어와 관련 깊은 성상의 불활성화로 이루어진 결과로 보고 다음의 건조 시스템 및 분쇄 시스템 설계와 제작 연구를 수행함

○ 고효율 폐해조류 건조기술 개발

- 건조 공정은 건조 대상에 열에너지를 가하여 수분 등의 용매를 제거하는 조작으로 제형화 공정이 요구되는 모든 산업 분야에 필수적인 공정임
- 건조 공정에 쓰이는 대표적 열에너지에는 열풍, 증기, 그리고 다양한 파장의 전자기파가 있으며 열전달 방식에도 전도, 대류, 복사 등 다양한 접근이 가능함
- 그러나 건조 공정에서 건조 대상에 전달된 에너지는 그 일부만 피건조물 내 수분 증발에 소모되며 대부분의 에너지가 주변 기기로 전달되어 손실됨
- 그러므로 건조 기술 개발 및 설계는 공정 상에서 손실되는 열에너지의 감소가 중요함
- 이와 더불어 피건조물의 성상 변화를 최소화 하여야 함
- 일반적인 농수산물 건조는 야외에 넓게 펼쳐 말리는 자연 건조 방법을 이용하거나 뜨거운 바람을 열원으로 하는 방법이 적용됨
- 이는 건조 과정에 많은 시간을 소비하며 피건조체의 특성 보존이 어려워 품질이 저하되는 단점이 존재함

- S-masking 연구의 소재가 되는 해조류는 수분 함량이 높아 건조과정에 시간이 많이 소요될 경우 건조 시스템의 열에너지가 부패를 가속화 시킬 수 있음
- 또한 해조류의 수분은 소금 성분이 함유되어 있어 설비적 한계로 일반 열풍 건조 시스템 적용이 어려움
- 따라서, 본 연구에서는 제한된 실내 공간에서 낮은 에너지 소비로 고품질 대량 건조가 가능한 폐해조류 건조 시스템 설계 및 개발 연구를 수행함
- 연구팀이 설계한 건조 시스템은 일반적인 열풍건조 방식과 달리 저전력으로 고온 원적외선 열원이 방출되어 농수산물용 면상 발열체 및 폐열량으로 회수되는 열교환 시스템임
- 이는 에너지 활용 효율이 높고 사용 전력이 낮은 장점이 있음
- 특히, 수분 함량이 높은 해조류에 대하여 건조 시간 단축시킬 수 있고, 건조품질이 높아 해조류 특유의 끈적이는 성향(점액질)이 보존되는 고효율 건조 시스템이라고 할 수 있음

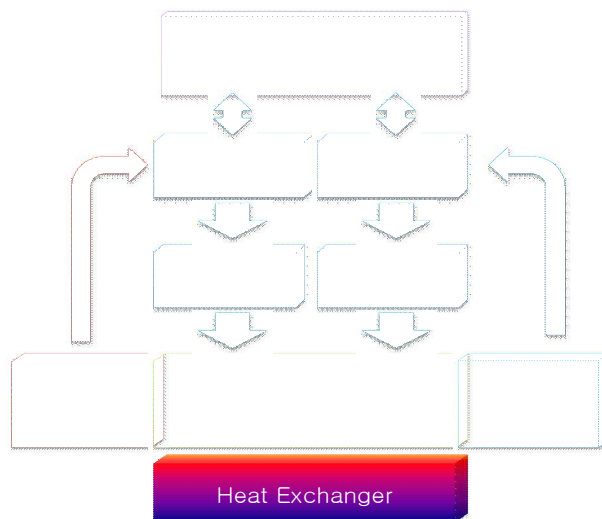


그림 74. 원적외선 기반 폐 해조류 대량 건조 시스템 설계. 높은 염도의 수분 함량이 높은 폐 해조류의 효율적인 건조를 위하여 원적외선을 열원으로 하는 건조 시스템을 설계함

- S-masking 에 적용 가능한 해조류의 종류는 다양하고 이에 따른 건조 조건도 매우 상이할 것으로 판단됨
- 건조 조건에는 피건조물에 가용 가능한 온도 범위, 상대습도를 고려하여야 하며 송풍량과 송풍온도, 컨베이어 속도, 방사체 온도 등이 건조 산물의 품질에 영향을 미침
- 그러므로 해조류 대량 건조 시스템에는 저전력으로 원적외선을 방출하는 면상발열체를 적용함
- 더불어, 건조 층에서 배출되는 상대 습도는 낮고 온도는 높기 때문에 폐열량 회수 시스템을 적용하여 급배기 순환을 유도함으로써 건조효율 향상 및 에너지 절감 효과가 수반되는 시스템을 설계함

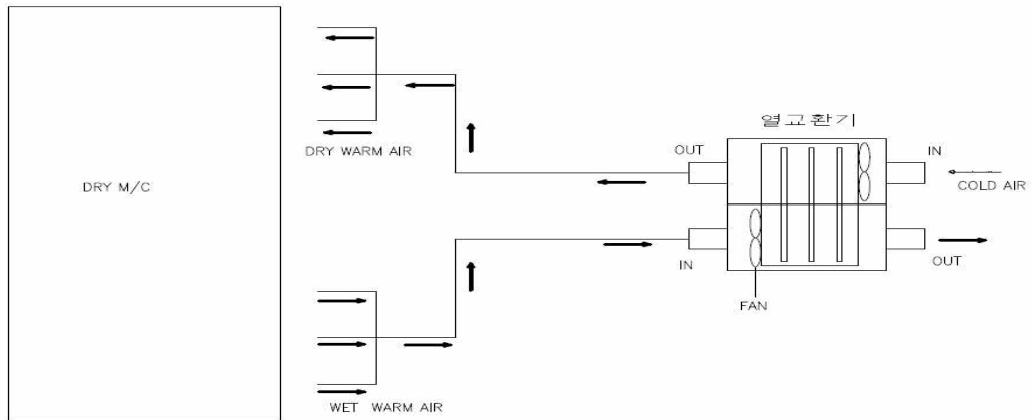


그림 75. 해조류 대량 건조 시스템의 열교환기 구동 흐름. 에너지 절감 및 해조류 분말의 고품질 유지를 위하여 저전력으로 건조 및 원적외선을 방출하는 면상발열체를 이용하였으며, 에너지 효율 증대를 위한 폐열량 회수 열교환기가 적용됨.

- 설계된 시스템은 고품질 건조를 위하여 구간별 최적 온습도 제어 장치를 지니며, 건조기 최적 회로 시스템이 구축됨
- Touch screen 형태로 조작이 쉽고 사용자 맞춤형으로 system operating program 조작이 용이하여 자동 건조 제어가 가능함

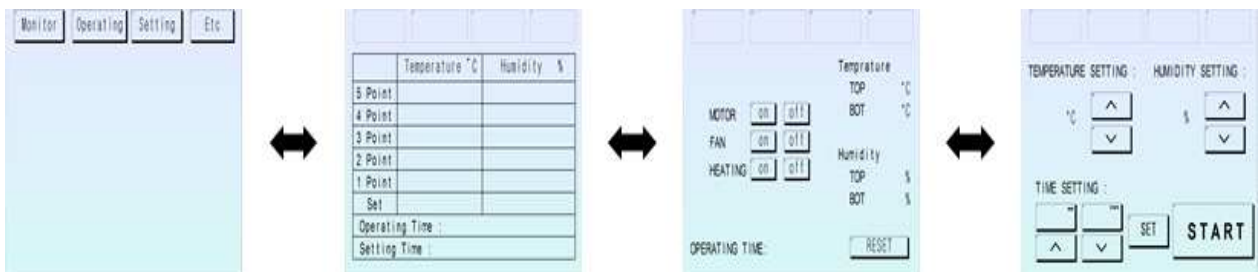


그림 76. 해조류 대량 건조 시스템의 조작 touch screen 배열. 직관적인 디스플레이로 조작이 용이하며 프로그램 조작이 가능한 건조 시스템 설계

- 원적외선 기반 해조류 대량 건조 시스템 구축과정으로 시제품 설계 및 in-silico 시뮬레이션을 다회 수행함
- 자동화 구동 프로그램의 설계 및 안정화 과정을 수행함
- 조작 모듈, 원적외선 모듈, 폐열량 순환모듈 등의 구동을 각각 검증 하고 이를 전체 시스템으로 조립함
- 제작된 시험용 장치를 이용하여 폐 해조류의 건조를 진행하였고 건조 효능을 평가함

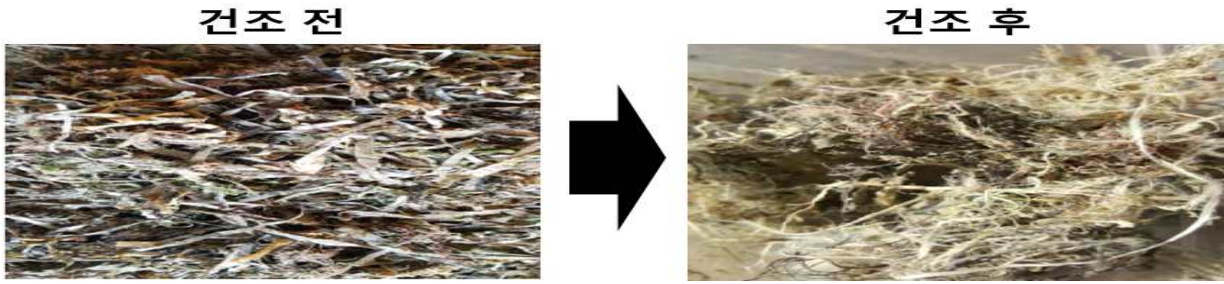


그림 78. 원적외선 기반 해조류 대량 건조 시스템 작동 테스트. 수거해온 폐 해조류를 넣고 건조 시스템을 작동함

- 일반적인 건조 시스템과 상대적으로 짧은 시간에 효율적으로 해조류 건조품을 확보 할 수 있었음

○ 폐해조류 분쇄 기술 개발

- 분말 제형화 공정에서 분쇄장치는 부피가 큰 폐 해조류의 절단 및 연속적인 분쇄 작업이 순차적으로 구동되어야 함
- 또한, 실증연구를 위하여 폐해조류 분말의 크기 조절이 가능해야 함
- 본 연구에서는 분쇄 장치의 단위 표면적 증대를 통해 미세한 입자부터 중량감이 있는 굵은 입자까지 다양한 분쇄 결과물을 얻을 수 있는 분쇄 기술 개발 연구를 수행함
- 일반적으로 분쇄 기술에는 롤밀(roll mill), 해머 밀(mammer mill), 디스크 밀(Disc mill), 볼 밀(ball mill)이 활용됨

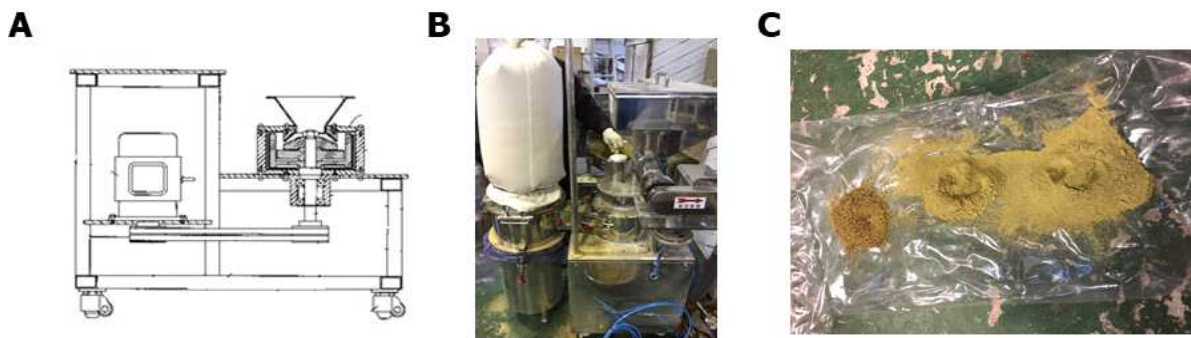


그림 79. 폐 해조류의 고품질 분쇄를 위한 롤밀 분쇄 기술 설계 . 섬유질 함량이 높은 해조류의 효율적인 분쇄를 위하여 롤밀 기반 분쇄 기술을 설계함 (A) 설계 모식도, (B) 롤밀 장비, (C) 롤밀 분쇄기 결과물

- 롤밀은 서로 일정한 간격을 두고 대응되도록 위한 적어도 2개 이상의 롤러가 회전하고, 롤러 사이를 제제가 통과하며 발생하는 압축력에 의해 분쇄되는 기술임
- 해머밀은 고속으로 회전하는 해머가 제제를 타격하면서 발생하는 충격력을 이용함
- 디스크밀은 고정된 원판과 고속으로 회전하는 회전판 사이에 제제가 통과하며 강한 압착력이 발

생됨

- 볼밀은 금속재질의 공이 고속으로 회전하면서 제제를 압착하고 이때 발생하는 압착력에 의해 제제의 분쇄가 진행됨
- 섬유질 성분이 높은 해조류의 경우 디스크 밀 방법이 타당하다고 판단되며 이를 설계함

나. 악취 원인 물질(암모니아, 황화수소 등) 및 이산화탄소 모니터링 및 악취제어 인자 선정

○ 악취 제어 인자 선정

- 악취는 감각적이고 주관적인 오염물질로 상황에 따라 또는 개인의 성향에 따라 문제의 심각성 여부 또는 정도가 상이함
- 이에 축산업에서 발생하는 악취의 객관적 데이터가 필요하나 고가의 계측기를 모든 축산 농가에 보급/설비하기에는 많은 어려움이 있음
- 따라서 본 연구에서는 경제성을 고려한 악취 측정기기 제작을 고려하였으며, 기존에 사용화 되어 있는 센서 모듈을 활용하기로 함



그림 80. 악취인자 측정 시스템 구동 모식도. 보급이 용이한 저가형 악취 측정기기를 제작하기 위하여 시중에서 대중적으로 사용되는 센서 모듈을 탑재한 단순한 형태의 시스템을 설계함

- 악취인자 측정 시스템의 전원은 독립전원(9V 건전지) 공급을 기본으로 하여 추후 충전방식 도입을 검토함
- 악취인자 및 환경적 요인에는 미세먼지, 암모니아, 휘발성 가스를 비롯하여 이산화탄소, 온도, 습도, 일산화탄소, 천연가스, LPG, 석탄가스 등의 검출이 가능한 센서를 이용함
- 악취인자 센서는 아날로그형식을 지양하며 디지털 형식으로 일정 구간별로 나뉘어 “안심, 보통, 위험” 등의 최소 구간으로 악취 발생 유무를 검출하도록 설계함
- 메인 컨트롤러는 단순 조작이 용이한 아두이노, 라즈베리파이, 산업용 임베디드(CUBLOC) 활용을 검토함

○ 메인 컨트롤러 선정

- 산업용 임베디드 컨트롤러는 내구성이 뛰어나며 소프트웨어의 규격화가 완비되어 안정성이 뛰어나
- 하지만, 고가로 가격 경쟁력이 떨어지고, 프로그램 연계 등 유연성이 낮음
- 아두이노 컨트롤러는 소형 마이크로 컨트롤러가 장착되어 있으며 상대적으로 쉽게 조작이 가능함
- 또한, 오픈 소스 하드웨어로 제작/수정/유통이 자유로움
- 내구성 측면에서 산업용 임베디드 컨트롤러보다 낮은 등급이므로 케이스 등의 설계가 고려됨
- 구조가 단순하고 저가형으로 가격 경쟁력이 매우 높음
- 라즈베리파이 컨트롤러는 하나의 보드 위에 CPU, 메모리, 네트워킹 모듈, 입출력을 갖춘 일종의 컴퓨터임
- 내구성 측면에서 산업용 임베디드 컨트롤러에 비해 낮음
- 구조는 다른 제품에 비해 복잡하지만, 와이파이, 블루투스 등의 네트워크 환경이 지원되며 그래픽 카드도 포함되어 있어 확장성이 뛰어나

표 48. 메인 컨트롤러

구분	사진	특징	
산업용 임베디드 컨트롤러		입력(접점)	16 ch
		출력(접점)	16 ch
		Analog input	2 ch
		고속카운터	2 ch
		사용언어	레더, BASIC
아두이노 컨트롤러		아날로그입력	6 ch
		아날로그출력	6 ch
		디지털입출력	13 ch
		접점 입출력	별도구성
		사용언어	C언어, 자바, 파이썬
라즈 베리파이 컨트롤러		CPU	쿼드코어 900MHZ
		GPU	VideoCore IV
		메모리	1GB SDRAM
		특징	오픈소스 하드웨어
		사용언어	C언어, 자바, 파이썬

○ 가스센서의 적용

- 상용화된 고가의 측정 장비를 축산 환경에 적용하는 것은 경제적 측면에서 매우 어려우므로 이를 해결하기 위하여 소모성 센서를 적용하여 가격 경쟁력을 높임
- 이를 위하여 센서 모듈의 정보를 수집하고 이를 정리함

표 49. 가스센서

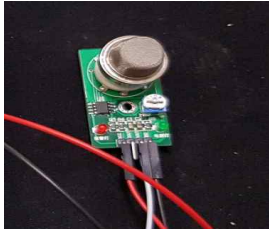
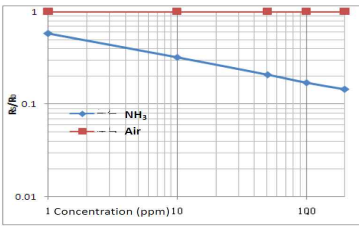

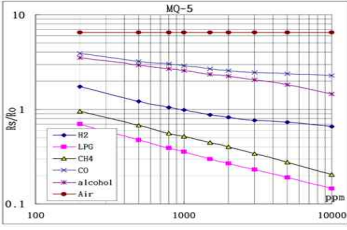

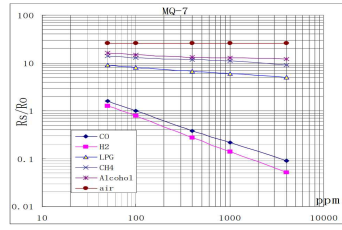
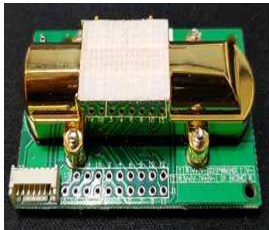

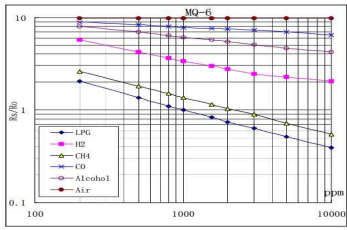
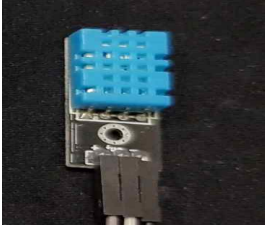
구분	사진	민감도	특징
암모니아 검출센서 (MQ135)			<ul style="list-style-type: none"> - NH3, NOx, 검출 - 아날로그 인터페이스
천연가스, LPG, 석탄가스 검출센서 (MQ-5)			<ul style="list-style-type: none"> - 천연가스, LPG, 석탄가스 검출 - 아날로그 인터페이스 - H₂, LPG, CH₄, CO, alcohol
일산화탄소 검출센서 (MQ-7)			<ul style="list-style-type: none"> - 일산화탄소 검출 - 아날로그 인터페이스
이산화탄소 검출센서			<ul style="list-style-type: none"> - 출력 인터페이스: UART, PWM (0.4V~2VDC) - 높은 분해능과 감도, 저전력 파워소모, 측정 범위: 0~5000ppm - 오차: +(50ppm+5%), 동작 전압: 4.5~5.5V, 전류: <85mA - 인터페이스 레벨: 3.3V, 초기 예열시간: 3분, 응답시간: <90초 - 동작온도: 섭씨 0~50도, 동작 습도: 0~95%RH
프로판, 부탄가스 검출센서 (MQ-6)			<ul style="list-style-type: none"> - LPG, 부탄 가스, 프로판 가스 - 알코올 등에는 약하게 반응 - 아날로그 값을 출력 - 출력되는 값은 ppm값과 비례

표 50. 온도, 습도 및 미세먼지 검출 센서

온도, 습도 센서	미세먼지 검출 센서
	

다. S-masking 시스템 적용을 위한 복합미생물제제 분사기술 설계 및 노즐 개발

○ 천연물 소재 복합미생물제제의 분사장치 설계

- 3차년도 연구에서 본격적으로 진행되는 실증 연구를 대비하여 분말 제형의 복합미생물제제의 도포가 용이하도록 분사 장치를 설계함
- 기존의 분사 장치는 분말 혹은 액상 전용으로 구분되어 있음
- 축산 농가 내 S-masking 시스템 도입 장소에 따라 복합미생물제제의 형태를 분말 혹은 액상으로 변동하여 사용할 수 있기 때문에 두 성상의 제제가 모두 분사될 수 있는 장치를 고안함
- 분사 장치의 핵심 부품은 분사 노즐이며 분사 노즐의 구멍 타공 형태와 크기, 요철 형태에 따라 분사 각도, 분사량, 분사 형태가 달라짐
- 본 연구팀이 고안하는 분사 노즐은 액상제나 분말제의 독립적인 분사가 가능하며 분사 각도 및 분사거리의 조절, 불말제의 혼합기 조절 및 습윤도 조절이 가능하도록 설계함

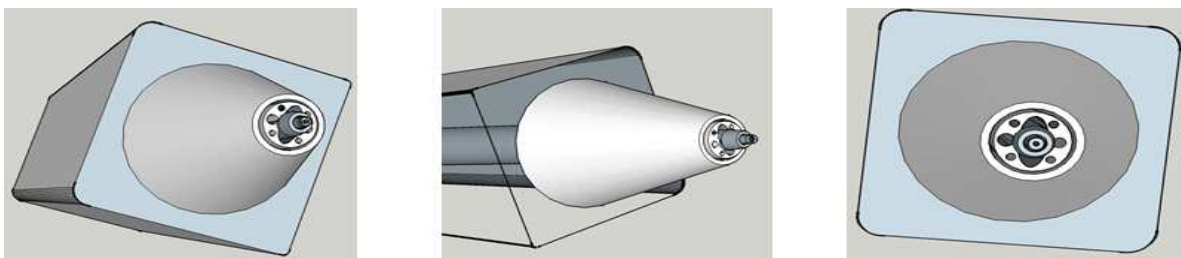


그림 81. 천연물 소재 복합미생물제제의 분사노즐 설계. 컴퓨터 지원 설계 (computer-aided design, CAD) 프로그램을 이용하여 복합미생물제제 분사 노즐을 설계함

- 상기 기준으로 분사 노즐을 준비하고 이를 공기압으로 분사 할 수 있는 시험용 분사 장치를 설계하고 제작하여 실제 농가에서 시운전함

○ 시험용 복합미생물제제 분사 장치 제작 및 시연

- 정읍 소재 축산 농가를 대상으로 주관연구기관과 협업하여 퇴비장에서 제작된 시험용 분사 장치를 시연함



그림 82. 제작된 시험용 분사 장치의 현장 시연. 제작된 분사 노즐과 이동형 컴프레셔를 적용하여 시험용 복합미생물제제 분사 장치를 제작하였고 활용성을 평가함

- 결과적으로 컴프레셔의 용량 제한으로 퇴비장 전체에 복합미생물제제를 도포하는 것에는 어려움이 있었음
- 또한, 복합미생물제제가 채워진 통에서 분사 노즐까지의 거리 대비 연결 장치인 호스의 굵기가 상대적으로 커서 복합미생물제제의 충분한 이송이 어려웠음
- 분사와 함께 표면이 도포되어야 하는 당초 시뮬레이션과 달리 복합미생물제제 분말이 먼지 형태로 날리는 현상도 발견됨
- 이는 분말 크기와 밀도, 무게 등의 재조정으로 해결 가능 할 것으로 판단됨
- 시연과정과 결과는 분사 기술 설계 및 시제품 제작에 활용할 예정임

가. 복합미생물제제를 적용한 S-masking 유틸리티 제작

○ 축산 시설 환경 개선 시스템 S-masking 유틸리티 디자인

- 육류 소비량이 쌀 소비량을 추월하여 지속적으로 확장 중인 축산업이 악취와 같은 불가결한 요인으로 생존권 위협과 생활 만족도를 저해하는 혐오 산업 분야로 인식되어 감에 따라 본 연구팀에서는 이를 해결하기 위한 축산 환경 개선 시스템을 구축하고자 함
- 축산업의 대표 7개 축종 산란계, 양돈, 육계, 한우·육우, 젖소, 염소, 오리를 제한된 공간에서 키우기 위하여 밀집 건축된 축사와 이들로부터 배설되는 분뇨의 퇴비조로부터 발생하는 축산 악취는 인근에 위치한 주거지역의 주민과 오랜 생존권 분쟁의 원인을 제공함
- 연구팀이 개발 중인 S-masking 축산 시설 환경 개선 시스템은 실시간으로 악취 원인 물질의 인지하고 현장의 기후 조건을 반영하여 시스템 스스로 악취 확산의 심각성을 계산하여 즉각적으로 악취 제어를 대응하도록 설계함
- S-masking 축산 시설 환경 개선 시스템에는 크게 악취 원인 물질과 이들의 확산에 영향을 주는 온도, 습도 등을 인식하는 센서파트와 입력된 정보값을 분석하여 명령하는 컨트롤파트, 그리고 컨트롤파트의 명령에 의해 악취 제어용 복합미생물제제를 살포하는 분사파트 총 세 가지 파트로 나눌 수 있음

- 이들 주요 파트의 원활한 구동을 위하여 전력을 공급하는 전원 파트와 악취 심각도를 표현해주는 디스플레이 파트가 이를 보조함
- 시스템의 전원은 AC 전원 공급을 기본으로 하며 보조 배터리를 장착하여 정전과 같은 비상시에도 시스템이 구동할 수 있도록 함
- 전원파트에는 추후 AC 전원 공급 방식 이외에 태양광 패널을 이용하여 독립적인 태양광 충전 방식을 도입할 계획임
- 디스플레이 파트에서는 먼 거리에서도 현장 노동자 및 운용자가 악취 심각도를 인식 할 수 있도록 점등 방식을 채택할 계획이며, 개발단계인 현재의 연구에서는 화면상에서 계측값 및 설정 등을 육안으로 관찰 할 수 있도록 설계하였으며, RS-232 직렬 통신 포트를 이용하여 컴퓨터로 데이터를 송출 할 수 있도록 하였음

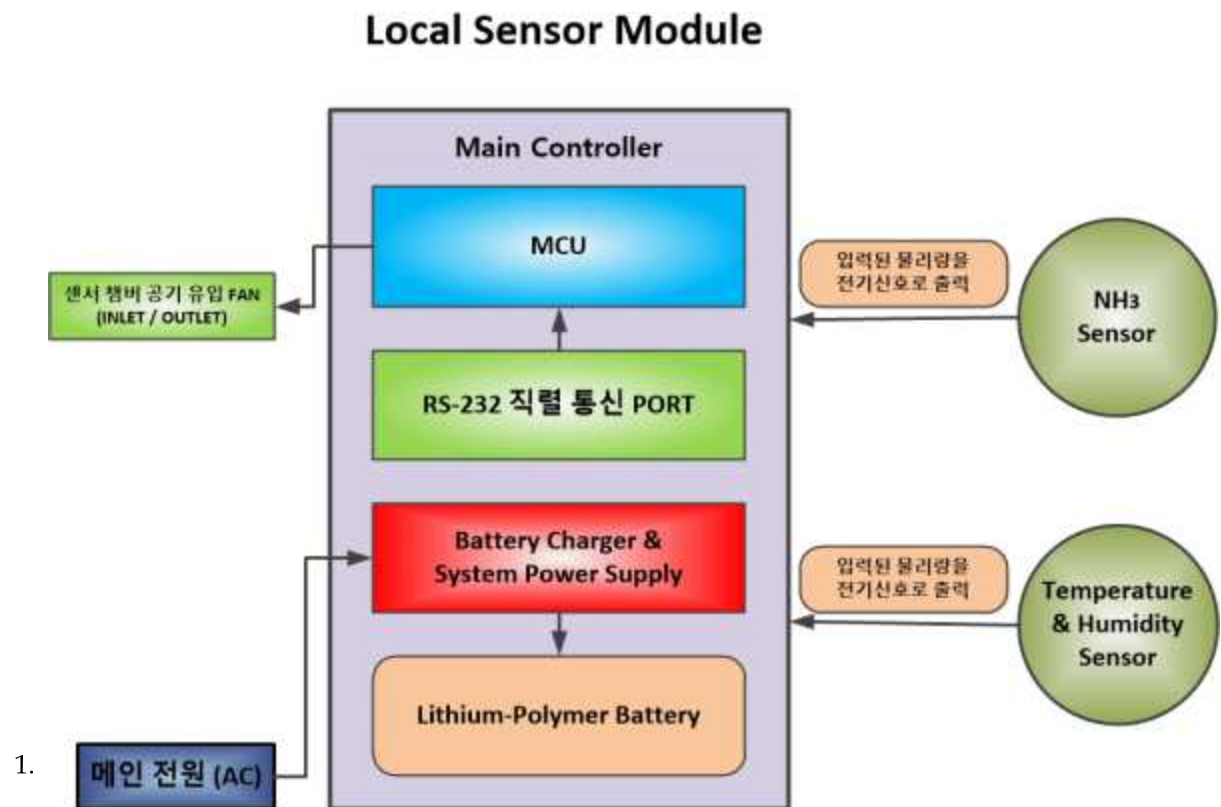


그림 83. S-masking 축산 시설 환경 개선 시스템 모식도. 암모니아, 온습도 등 환경 조건을 측정하고 측정된 수치를 유선 통신을 통한 DATA 전송을 위한 시스템을 설계함

- 추후 계획 중인 디스플레이 파트에는 아날로그형식을 지양하며 디지털 형식으로 일정 구간별로 나뉘어 “안심, 보통, 위험” 등의 최소 구간으로 악취 발생 유무를 검출하도록 설계하였으며, 필요에 따라 벨소리 등의 보조 장치를 검토함
- 안정된 시스템 구축이 완료된 시점에서는 사무실 내에서 이를 조절할 수 있는 네트워크 방식을 채택할 계획임
- 악취 원인 물질에는 암모니아, 아민, 황화수소, 휘발성 지방산 등이 대표적이며 환경적

악취 확산 요인에는 미세먼지, 온도, 습도, 풍향, 풍속 등이 있음

- 현재 개발 중인 시스템에서는 축산 악취 제어의 원형 기술 확보 및 실적용에 집중하여 장기간의 검교정 단계가 요구되는 복잡한 측정 설비는 배제하였으며, 이에 따라 센서부에는 악취의 주요 원인이 되는 암모니아 농도를 ppm 단위로 측정 가능한 센서를 탑재함
- 또한, 악취 원인 물질을 정밀하게 분석하기 위하여 센서는 챔버에 위치하며 외부 공기 유입 및 배출을 위한 FAN이 설치하게 됨

○ S-masking 시스템 모델링

- 악취에 대한 의식(관능)의 정도는 매우 감각적이고 주관적임에 따라 축산 악취로 인하여 발생하는 민원은 개인의 성향에 따라 문제의 심각성의 정도가 매우 상이함
- 따라서, 축산 현장에서 발생하는 악취의 객관적인 누적 데이터 분석을 통하여 실질적인 해결방안 모색이 필요하나, 상용되는 악취 감지 센서 및 분석 장비 등은 고가의 제품들로 운용에 있어서도 일반인이 쉽게 이해하기 어려운 현실적 문제점들이 산재됨
- 이에, 본 연구에서는 경제성을 고려하며, 실시간으로 악취를 측정하고 이를 알람벨 또는 알림등으로 심각도를 알려줄 수 있는 악취 물질 감지 및 측정기기를 설계함

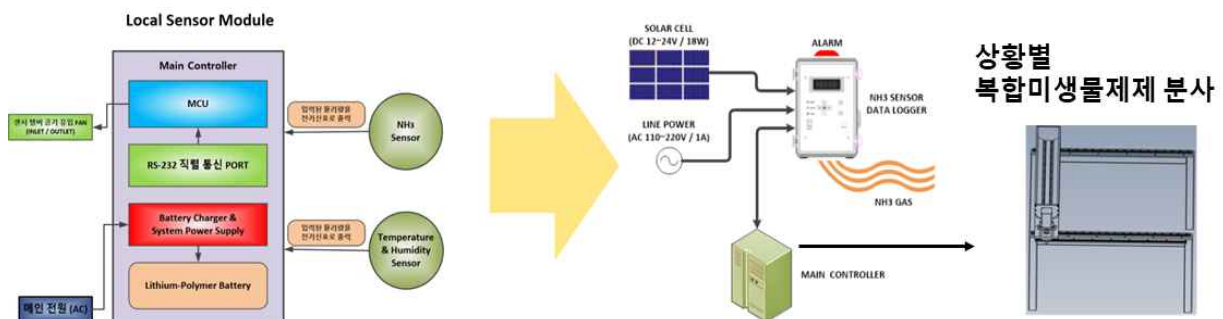


그림 84. 악취인자 감지 시스템 구동 모식도 및 S-masking 시스템 모델링

- S-masking 시스템은 일정 수준 이상의 악취인자가 감지(문제인식)되면 구동되도록 설계되었으며, 온도, 습도 등에 의한 부가적인 요인을 함께 분석하여 악취의 확산정도를 계산하고 이를 토대로 상황에 맞는 복합미생물제제 분사(조치)되도록 할 계획임
- 악취 인자 측정 시스템의 전원은 AC 전원 공급을 기본으로 하며, 비상용 보조 배터리 충전방식을 함께 적용하여 정전 및 비상상황에서도 시스템이 원활히 구동되도록 하였으며, 추후 독립적인 충전방식(태양광 충전 방식 등) 도입을 검토함
- 악취인자 측정 시스템은 암모니아 농도를 기본적으로 감지하며 온습도 등 환경 조건을 측정하고 측정된 수치를 유선 통신을 통해 데이터 전송/분석을 실시함

○ 축산 악취 감지 센서 모듈 선정

- 축산 시설로부터 발생되어 농장 주변으로 확산되는 악취 원인 물질은 기체 형태로 비산되므로 이를 감지하기 위한 가스 세션 소자의 선정이 매우 중요함 | 들의

표 51. 가스 검지 센서 구동 방식별 특성

구분	전기화학식	접촉연소식	반도체식	광이온화식
동작원리	가스와의 반응에 의한 전극간의 기전력 변화	가연성 가스와의 발열반응에 의한 열선의 저항변화	가스와의 반응에 따른 금속산화물의 저항변화	가스에 의한 적외선 흡수도 변화
대표 감지가스	CO, CO ₂ , O ₂ , SO ₂ , NO, NO ₂ , VOC	가연성 가스 (H ₂ , CH ₄ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ 등)	CO, NO ₂ , SO ₂ , H ₂ S, VOC(알콜, HCHO 등)	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , SO ₂ , O ₂ , CxHy
감지가스 선택성	중	하	하	상
민감도	상	하	상	중
반응시간	빠름	중간	빠름	느림
소모전력	중	대	중	저
가격	저	저	저	고
크기	소형	중형	소형	대형
활용제품	산소가스센서(갈바닉 방식), 유독가스센서(정전위 전해방식)	가연성 가스 경보기	반도체식 가스센서 (소결형, 박막형, 나노 구조형)	이산화탄소 측정기(NDR방식)

- 가스센서는 가스의 검출 방식에 따라 크게 전기화학식(Electrochemical), 접촉연소식(Catalytic), 반도체식(Semiconductor), 광학식(Photoionization) 가스센서로 구분함
- 전기화학식 가스센서는 산화(환원) 반응이 일어나는 검지 전극, 이와 동시에 환원(산화) 반응이 일어나는 대항 전극, 그리고 산화환원 반응과 함께 변화하는 전위를 감지하고 전위를 일정하게 유지하기 위한 참조 전극으로 구성됨
- 작동원리에 따라 갈바니 전지방식과 정전위 전해방식으로 구분되며 응답성, 고감도, 가스 선택성, 안정성, 재연성 등에서 우수한 특성을 보임



센소릭 가스센서



암모니아 센서



포스진 센서



트랜스미터보드

그림 85. 전기화학식 가스센서 예시. 전기화학식 가스센서는 전해질 내에서 양극과 음극의 산화 환원 반응에 의해 발생하는 전류 값의 변화를 감지하는 센서임

- 전기화학식 가스센서는 특정가스에 반응하는 전기화학식 센서는 다양한 안전분야에서 CO, H₂S, Cl₂, SO₂ 등 대부분의 일반적인 유독성 가스를 검지하는데 사용할 수 있음
- 크기가 작고 구동을 위한 전력이 매우 적으며 우수한 선형성과 반복성을 지님
- T90(최종측정치의 90%에 도달하기까지 걸리는 시간)으로 표시되는 반응속도가 일반적으로 30초에서 60초 내외이며, 최저 검지범위는 측정 대상이 되는 가스의 종류에 따라 0.02~50 ppm 범위까지 가능함



그림 86. 접촉연소식 가스센서 예시. 접촉연소식 가스센서는 가연성 가스와 산소와의 반응열을 전기신호로 변환하여 가스의 유무 및 농도를 감지하는 방식의 센서임

- 금속의 경우 온도의 상승에 따라 저항값이 커지며, 접촉 연소반응 시 발생하는 열에 의한 금속의 저항값 변화로부터 가스의 농도를 감지함
- 접촉연소식 센서는 다공질 세라믹 속에 금속열선을 내장하고, 담체를 가열한 후 가스가 가열된 담체에 접촉하면서 발생하는 연소반응을 활용함
- 주위 수증기나 습도, 온도변화에 대해 안정적이어서 가연성 가스 경보기에 주로 사용되나 고농도의 가스는 검출이 어려움
- 현재 거의 모든 저가의 가연성 가스 센서들은 접촉연소식을 채택하며, 일반적으로 비드(bead), Pellistor, Siegestor 등으로 일컬어지는 작은 구슬형 검출 소자임
- 접촉연소식 가스센서는 전기에 의해 가열되는 백금선 코일로 만들어지는데, 기위를 알루미늄나(Al₂O₃)와 같은 세라믹 베이스로 감싸고, 최종 코팅 물질로는 산화토륨(ThO₂) 지지층에 분산된 팔라듐(Pd) 또는 로듐(Rh) 촉매를 사용함

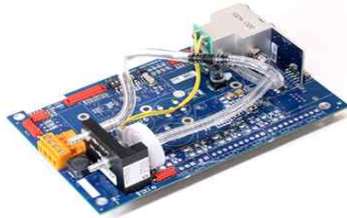


그림 87. 반도체식 가스센서 예시. 반도체식 가스센서는 세라믹 반도체 표면에 가스가 접촉했을 때의 전기전도도 변화를 이용하는 센서임

- 반도체식 가스센서는 특정 가스가 산화물 반도체에 흡착 시 전자의 이동으로 인해 산화물 반도체 표면의 공핍층 두께가 달라지며, 이러한 공핍층 두께의 변화가 반도체의 전기전도의 변화를 야기함
- 검출 시간을 단축하기 위해 고온이 요구되므로 고온에서 안정한 금속 산화물이 주로 사용되며, 산화주석(SnO_2)이 가장 많이 쓰임
- 반도체식 가스센서는 대부분의 유독가스 및 가연성 가스에 반응하며, 검출 회로의 구성이 간단하여 센서 제작이 용이하고 대량생산이 가능한 장점이 있으나 표적 가스 이외의 다른 가스에 의해서도 전기 전도도가 변화하기 때문에 표적 가스의 농도 차이를 감지하기 어려움
- 많은 종류의 가연성 가스는 빛의 전자기 스펙트럼 중에서 적외선 영역의 흡수 띠들을 가지고 있으며, 이러한 적외선 흡수의 원리는 오랜 시간동안 실험실용 분석기기에 사용됨
- 1980년대부터 전자공학과 광학기술의 발전에 따라 충분히 낮은 전력과 작은 크기의 장점을 지닌 장비의 설계가 가능하게 되었으며, 실제 산업용 가스검지기 제품들에 적용됨



적외선 가스센서



고정밀 적외선 가스센서
(Gascard NG)



IRNET-P 적외선 가스센서

그림 88. 적외선식 가스센서 예시. 광학식(적외선식) 센서는 가스분자의 광 흡수도를 측정하여 농도로 환산하는 방식으로, 대표적으로 NDIR(Non-Dispersive InfraRed; 비분산적외선) 방식이 시장을 석권하고 있음

- 적외선식 가스 센서는 두 파장의 적외선 흡수원리로 작동되며 2개의 파장을 가진 빛이 시료 가스를 지나갈 때, 그 중 하나는 검지할 가스에 흡수되는 측정파장에 설정하고, 다른 하나는 시료 가스에 의한 흡수가 일어나지 않는 기준파장으로 고정함
- 2개의 광원은 서로 교대로 켜지며 방폭창을 통해 공동의 광경로를 거쳐 시료 가스를 지나게 되고 시료를 통과한 빛은 역반사체에서 반사되어 시료 가스를 한번 더 통과함
- 시료 가스에 흡수되고 남은 측정 파장과 기준 파장의광도를 비교하여 둘 사이의 차이를 이용하여 가스 농도를 측정함
- NDIR 방식은 적외선 광원과 적외선 센서 사이에 존재하는 적외선 밴드패스 필터를 이용하여 특성 가스에서의 적외선 광흡수 정도에 따른 전기적신호 감소로부터 가스 농도를 측정하는 방식임
- NDIR 가스센서는 전기화학식에 비해 높은 측정 정밀도, 빠른 반응시간, 낮은 소모전력 등의 장점이 있고, $4.26\mu\text{m}$ 의 밴드패스 필터를 적용하여 이산화탄소 측정에 주로 사용되고 있음
- 담체는 촉매 기능을 갖는 물질을 분산시켜 안정하게 흡착하게 하는 고체를 의미하며,

공핍층은 캐리어가 희박해지고 공간 전하가 있는 영역을 의미함

○ 암모니아 검출 센서 모듈 선정

- 공기 중 내 가스 형태의 악취인자를 검출 할 수 있는 소자를 이용하여 모듈을 최적화 하였으며 제작된 센서는 모듈의 형태로 사용 환경 및 현장의 요구에 따라 구성을 자유롭게 선택할 수 있음
- 운용 시스템에 적용되는 악취인자 검출 센서는 모듈 형태로 적용되어 현장의 요구에 따라 자유로운 교체가 가능하며, 내구성과 데이터 안정성을 높이기 위해 최적화를 수행함
- 연구에서는 악취 원인 물질 중 대표적으로 지적받는 암모니아에 대한 검출 연구를 우선 적용하였으며 시스템 안정화 단계 후 순차적으로 아민, 황화수소, 휘발성 지방산 등 다양한 악취 성분에 대한 센서를 함께 적용할 계획임

표 52. 축산 악취 원인 물질 암모니아 검출 센서 선정 및 적용

회사명	Ddscience	NEMOTO	WINSEN
국가	영국	일본	중국
모델명	GS+4NH3-100	NE4-NH3	ME3-NH3
방식	전기화학식	전기화학식	전기화학식
측정범위	0~100ppm	0~100ppm	0~100ppm
T90 반응시간	<120s	<120s	<90s
분해능	1ppm	-	0.1ppm
사용기간	12개월	6개월	24개월
크기	Ø20 x 16.5	Ø20.4 x 16.6	Ø20 x 16.4
사진			
가격(개당)	150,000원	200,000원	100,100원

- 센서 모듈은 아날로그 인터페이스를 채택하여 0~5V 신호를 main control unit 에서 처리됨
- 센서에 공급되는 전원은 12V DC를 사용하도록 구성함
- 센서의 검출 정보의 신뢰성을 높이기 위한 최적화(calibration)를 진행 중이며 수신되는 데이터의 평균값을 통계하였으며 센서의 공인 검출 범위에 대한 신뢰도를 높임
- 선별 조건은 실제 농도에 최단시간에 도달 할 것, 센서의 마모로 인한 교체 시 부품조달이 용이하고 저렴할 것, 온도, 대기, 습도에 덜 민감할 것

○ 축산 악취 감지 센서의 디스플레이 방식 선정

- 축산 현장에 설치되어 악취 물질 농도 및 위험도를 표기하여 현장 노동자 및 운영자가 이를 인식 할 수 있도록 축산 악취 감지 센서 장치에 모니터 설치를 고려함
- 저전력으로 시인성이 명확한 모니터 패널 선정을 위하여 TV, 휴대용 장치 등에 보편적으로 사용되는 LCD와 OLED의 적용을 검토함
- LCD와 OLED의 뚜렷한 차이는 컬러필터에 있으며, LCD는 빛을 투과하는 디스플레이로 반드시 컬러필터가 있어야 하지만, OLED는 자발광 디스플레이이므로 컬러필터가 불필요함

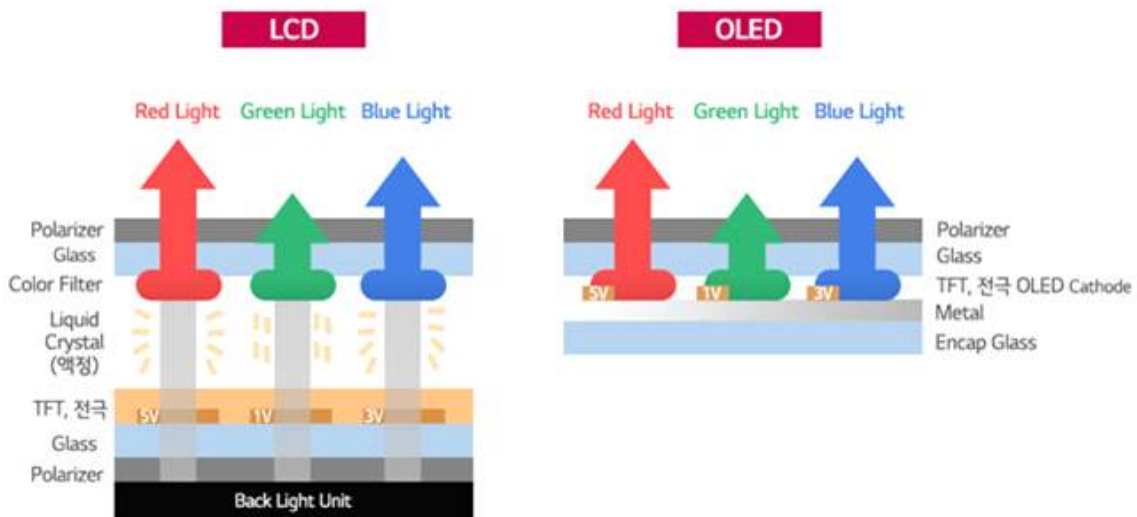


그림 89. LCD와 OLED 디스플레이의 구조 차이. 컬러필터 사용유무로 인하여 두 디스플레이에 구조적 차이가 발생하는데, 빛을 만들어 주는 방식과 물질이 다르기 때문에 색을 표현해 낼 수 있는 정도의 차이도 발생됨

- 디스플레이가 색을 다양하게 표현해 낼 수 있다는 것은 조건에 따라 실제 사물의 색감을 더욱 정밀하게 표현해 낼 수 있음을 의미하고 이는 디스플레이 화질에 있어서 매우 중요한 부분을 차지함
- LCD 디스플레이의 빛을 내는 부분은 백라이트이며 백라이트의 빛은 항상 켜져 있는 상태에서 LCD 전체를 비춰주고, TFT에서 이를 보내줄지 말지 결정된 후 컬러필터에서 빛의 색이 표현됨
- OLED는 LED가 픽셀의 숫자만큼 존재하며, 픽셀 자체의 빛을 TFT에서 공급되는 전압, 전류만으로 개별 제어가 가능함
- 이는 적색(R), 녹색(G), 청색(B)의 OLED를 각각 사용하는 방식으로 컬러필터가 불필요함

표 53. OLED 디스플레이의 장점

구 분	LCD	OLED	비 고
응답속도	30/1,000 sec	1/1,000,000 sec	응답속도 개선
전력 소모량	고전력 소모	저전력 소모	기술발전에 따라 전력 소모 감소 추세
시야각	제한 있음	제한 없음	시야각 해소
작동온도	0℃ ~ 65℃	-30℃ ~ 80℃	확대된 작동 온도
가격	LCD > OLED		OLED 가격 절감 가능
발광방식	백라이트 필요	자체 발광형	제품의 두께 감소
수명	약 60,000 시간	약 25,000 시간	유기 물질 수명 문제 보유
명암비	LCD < OLED		OLED는 완벽한 검은색 표현 가능
크기	다양	작음	휴대폰 등 작은 디스플레이에 주로 적용
유연성	낮음	높음	백라이트 불필요에 따른 유연성 확보

- OLED의 수명은 LCD에 비하여 절반 수준이며 구현 가능한 크기 또한 휴대폰 액정 수준으로 매우 작음
- 하지만, 현장 적용을 위한 축산 약취 감지 센서는 실용적 측면에서 저전력 소모가 매우 중요하며 휴대폰 액정 수준의 크기로도 충분히 정보 표기가 가능하기 때문에 OLED의 활용을 검토함

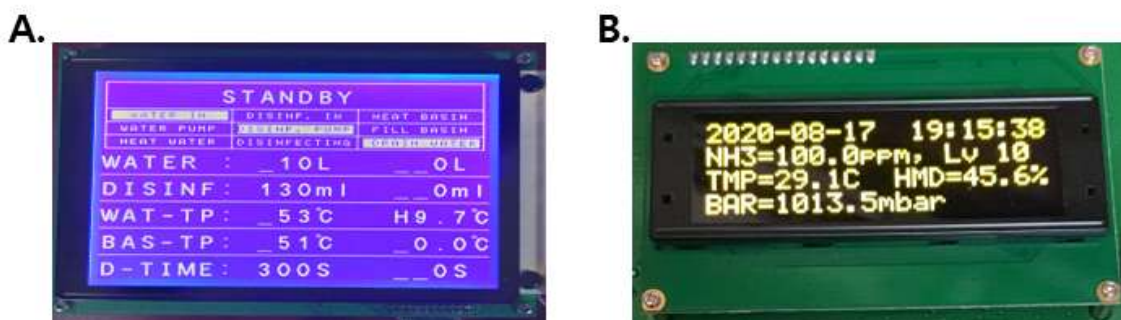


그림 90. LCD와 OLED 디스플레이 적용예시. A. LCD 디스플레이, B. OLED 디스플레이 축산 약취 감지 센서에는 B의 OLED 디스플레이가 실제 적용됨

- 외부환경에 노출되어 태양광이나 외부 빛 혹은 흐린 날씨에도 명암비가 높고, 시야각이 넓으며, 영하의 저온(-30℃)에서 고온(80℃)까지 작동 온도 범위가 넓은 것 또한 OLED를 디스플레이 방식으로 채택한 주요 고려 요인임

○ 축산 악취 감지 센서 키패드 설계

- 축산 악취 감지 센서에는 현장의 상황에 따라 설정 변경이 쉽게 이루어 질 수 있도록 키 패드를 장착하여 활용도와 가변성을 높임
- 센서의 키패드에는 동서남북 형태의 방향키와 ENT(enter)키와 ESC(escape)키 총 6개로 모든 조작이 가능하도록 설계함
- 키패드는 버튼식으로 설계하여 부품교체가 용이하도록 함

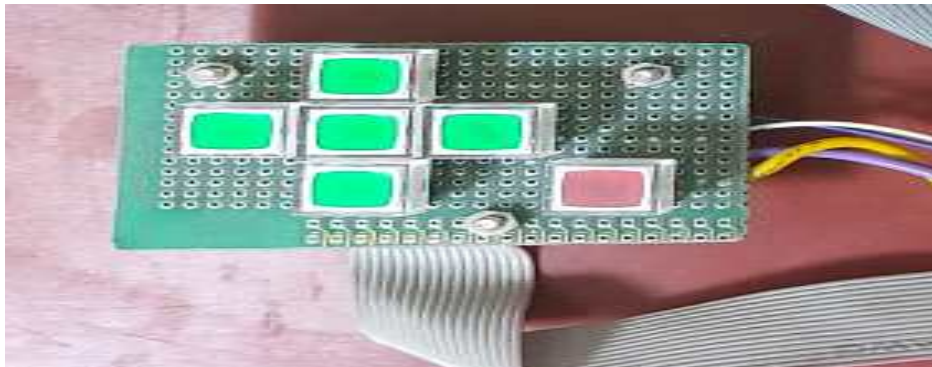


그림 91. 센서 실험 조건 변경이 가능한 키패드 장착. 단순하면서도 모든 설정이 가능하도록 방향키와 ENT키, ESC키로 구성됨

○ 축산 악취 인자 검출 센서 운용 시스템 제작

- 공기 중의 가스 성분, 즉 악취인자를 검출하여 악취 정도에 따른 S-masking 시스템을 개시하고 이를 조절하기 위한 센서 운용 시스템을 제작함
- 센서 구동을 위하여 메인 컨트롤 파트, 디스플레이 파트, 센서 파트, 배터리 파트, 그리고 전원 공급 파트로 구성된 운용 시스템 원형을 구축함
- 메인 컨트롤러의 경우 양산품으로 제작된 제품을 고려하였으나 향후 지속적인 하드웨어, 소프트웨어 수정 및 업그레이드 등의 편의성을 주기 위하여 자체 개발한 컨트롤러를 제작함



그림 92. 메인 컨트롤 파트. 신호처리를 위한 중앙 제어 프로세서로 신뢰성 확보를 위해 basic과 ladder logic을 구현 할 수 있는 장치를 선정함

- 자체 개발한 메인컨트롤러의 초기형(프로토타입, Prototype)에는 OLED 모니터, SMPS (Switched-Mode Power Supply), 암모니아 센서, 온습도 센서, 비상용 배터리, RS-232 통신 모듈, FAN(INLET, OUTLET)이 장착되어 이를 유기적으로 제어하도록 설계함
- 또한, 메인 컨트롤 파트는 산업용 멀티테스킹이 가능한 ladder logic을 사용하여 활용 폭을 넓힘

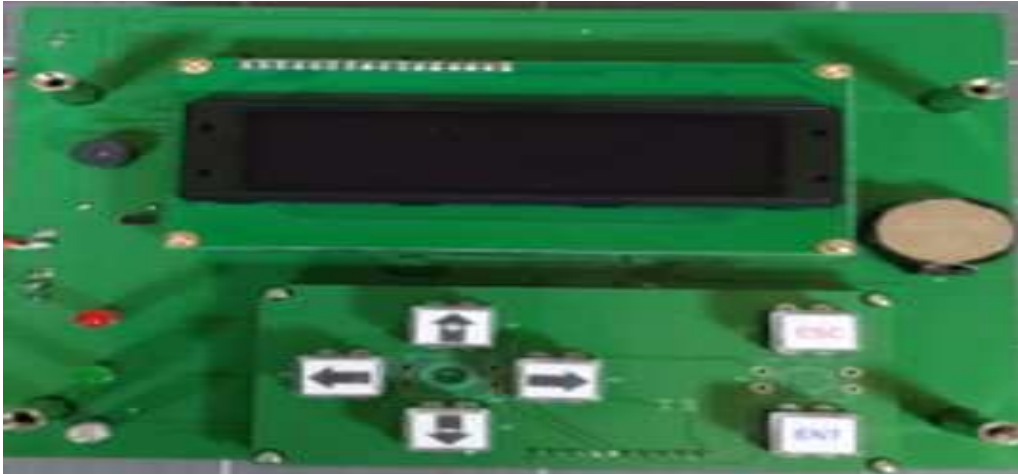


그림 93. 디스플레이 파트. 디스플레이 파트는 센서 측정 수치 등 parameter를 나타내는 OLED 디스플레이와 메뉴선택, parameter 수정 및 설정할 수 있는 키패드를 적용함



그림 94. 센서 파트. 센서 파트는 암모니아 검출 센서, 온습도 센서의 개별적용 혹은 향후 복합 적용이 가능함

- 가스 센서의 내구성 확보를 위하여 가스의 공급을 제어함으로써 데이터의 안정성이 높고, 챔버 구조를 적용하여 FAN(INLET / OUTLET)으로 유량 제어가 가능함

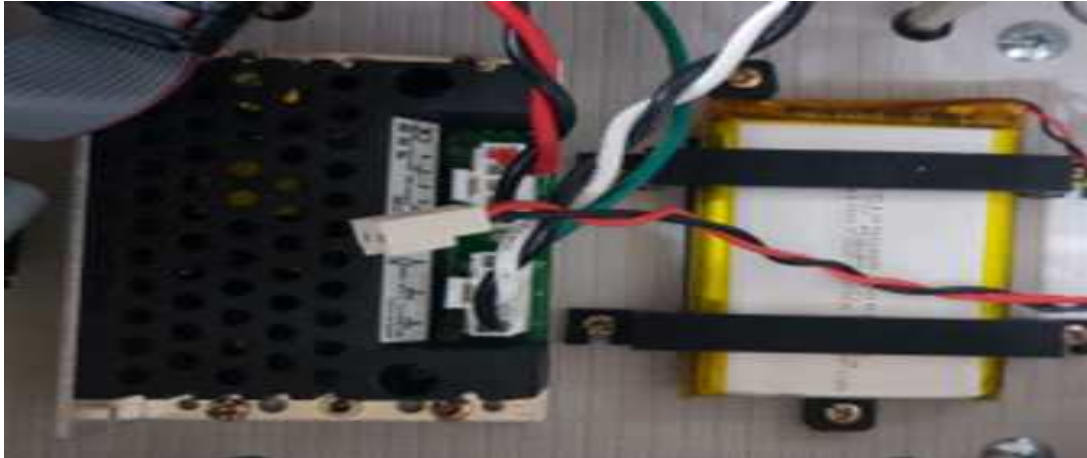


그림 95. 전원 공급 파트와 배터리 파트. DC 12V의 정전압 전원을 공급하는 스위치 모드 파워 서플라이(SMPS, Switched-mode power supply)를 적용함

- 배터리 파트는 휴대 혹은 전원 공급이 어려운 상황에서 센서의 구동, 데이터 저장을 위한 전기를 공급하며, 정전과 같은 비상시에 상시전원에서 배터리 전원으로 자동 전환하여 센서 시스템 구동이 연속적으로 이루어지도록 보조함
- 각기 제작되어 하나의 시스템으로 조립한 축산 약취 감지 센서 시스템은 아래의 그림과 같음

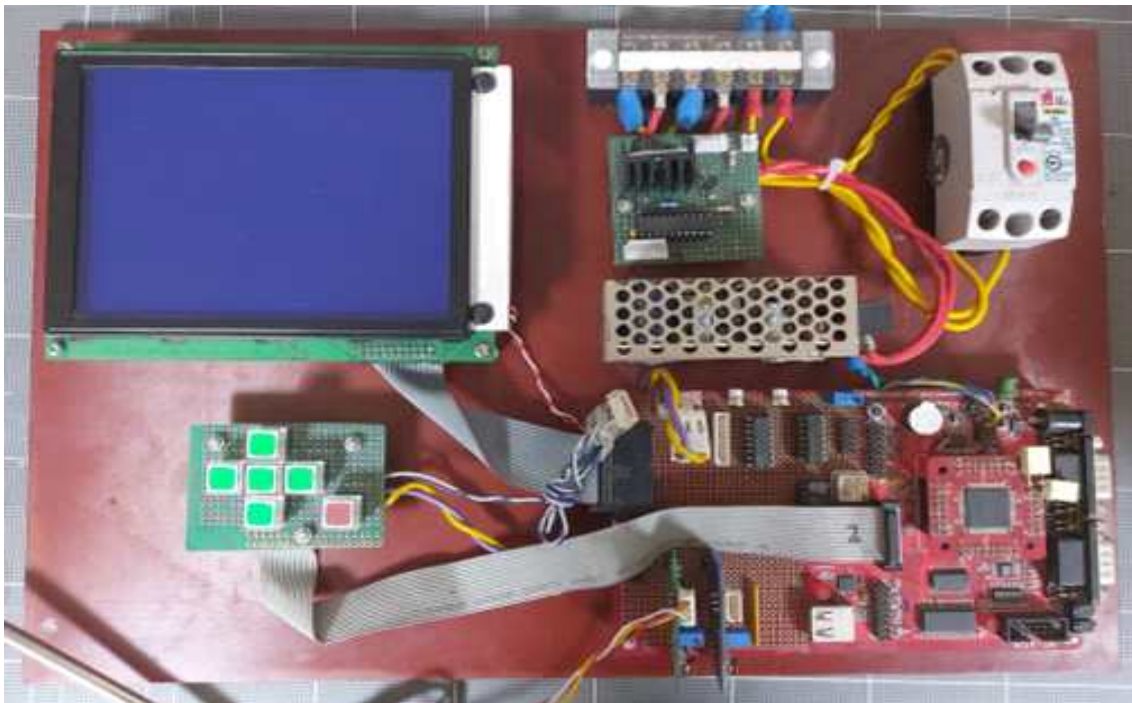


그림 96. 축산 약취 감지 센서 메인 컨트롤러 설계 및 제작. 축산 약취 제어의 효과적인 저감/제어를 위하여 복합미생물제제가 적용된 S-masking 시스템 초기 모델을 설계하고 이를 구현함

가. 약취물질 감지 센서를 활용한 실시간 모니터링 소프트웨어 및 하드웨어 개발

○ 축산 약취 인자 검출 센서 하드웨어(PCB) 제작

- 앞선 연구에서 개발된 각 파트의 모듈을 하나의 유기적 구동체로 연결하기 위한 인쇄 회로 기판(PCB, Printed Circuit Board)를 제작함
- 제작한 PCB는 각 파트의 하드웨어 및 소프트웨어 구동시 발생될 수 있는 충돌을 최소화 하도록 설계함
- 이를 위하여 회로도를 설계하고 거버파일(Gerber file)을 제작하여 충분한 검토 후 진행함
- 특히, 거버파일에는 실크스크린, 솔더마스크, 동박, 내층정보, 드릴파일, TOP, BOT 등의 정보가 누락되지 않도록 충분한 검토화 계산을 진행함
- 세밀히 설계하고 검증된 설계도와 거버파일을 바탕으로 메인컨트롤 파트, 센서파트, Key Switch 등의 PCB를 제작함

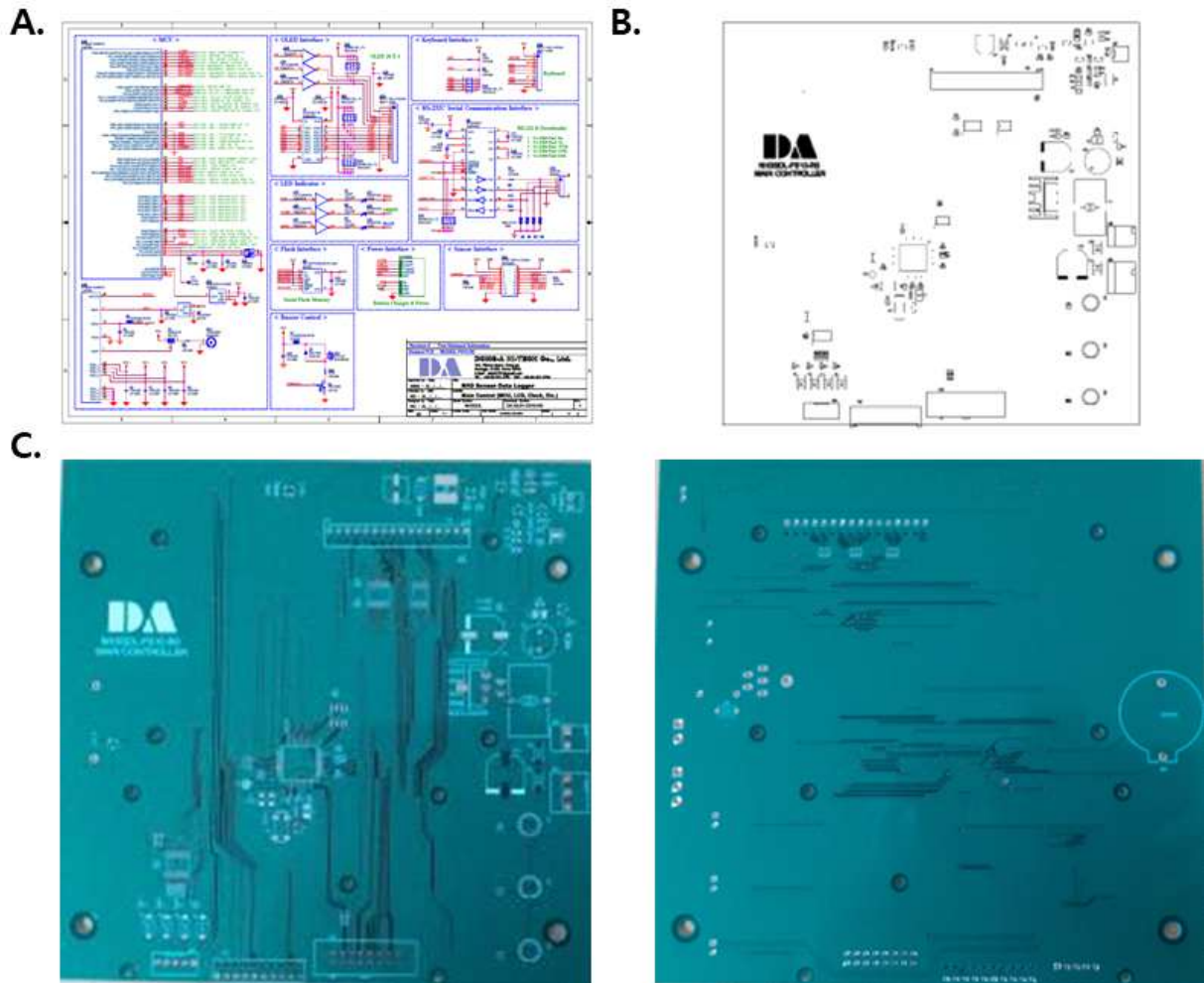


그림 97. 메인컨트롤 파트의 PCB. (A) 메인 컨트롤파트 회로도, (B) 메인 컨트롤파트 거버파일, (C) 메인 컨트롤파트 PCB

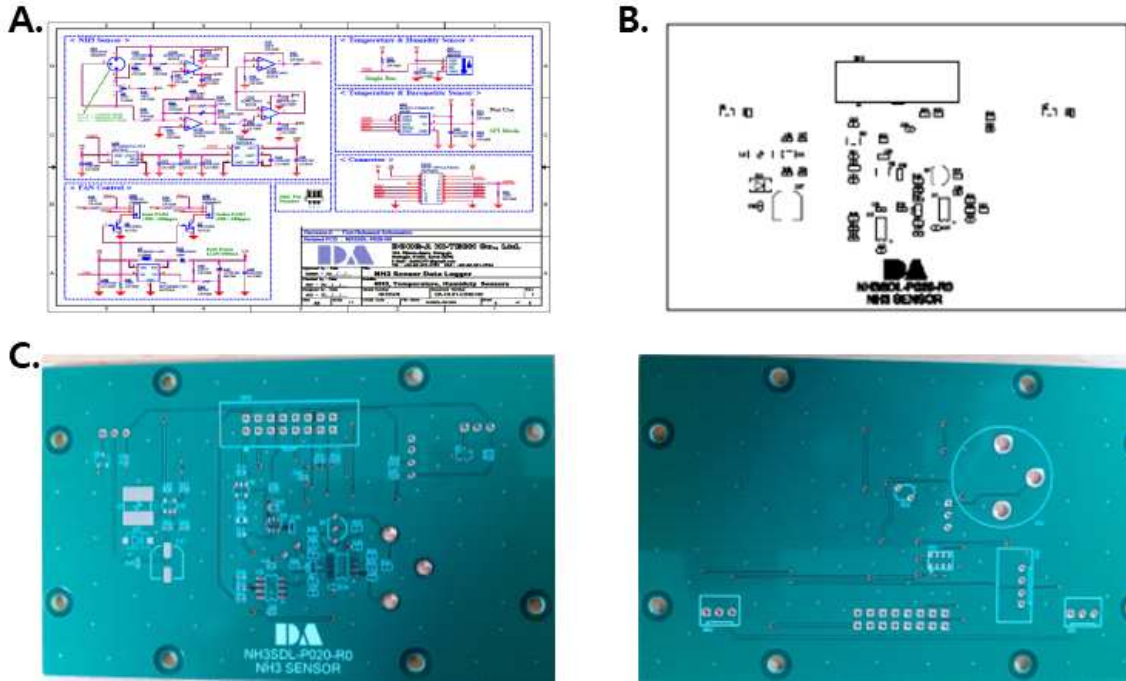


그림 98. 센서 파트의 PCB. (A) 센서 파트 회로도, (B) 센서 파트 거버파일, (C) 센서 파트 PCB

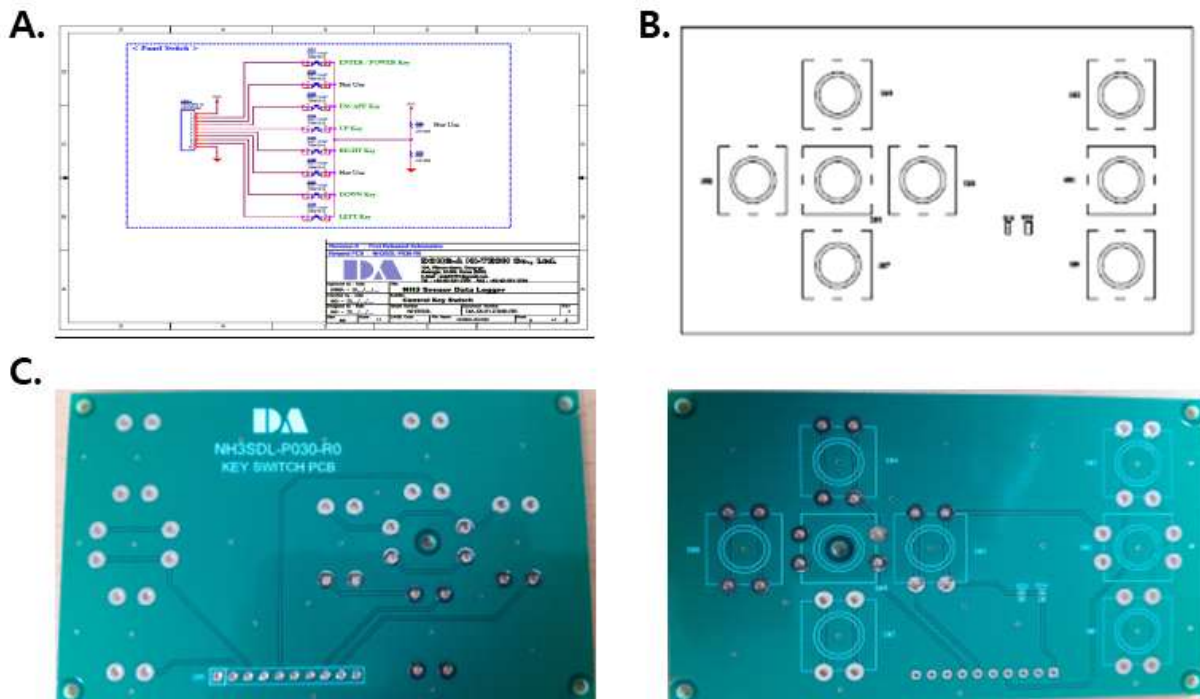


그림 99. Key Switch 파트의 PCB. (A) Key Switch 파트 회로도, (B) Key Switch 파트 거버파일, (C) Key Switch 파트 PCB

- 이와 더불어 DC 전원 공급 및 비상 배터리의 전원 공급 등을 제어하며 각 파트별로 일정한 전력이 공급되도록 Power 회로도를 설계함
- 또한, 전기, 전자 장치의 작동을 위한 배선 연결 디바이스 구성을 위하여 Harness 회로도를 설

계하여 시스템 부하 용량, 전원 분배 및 코넥터 등 각각의 설계 요건에 맞는 시스템을 구축함

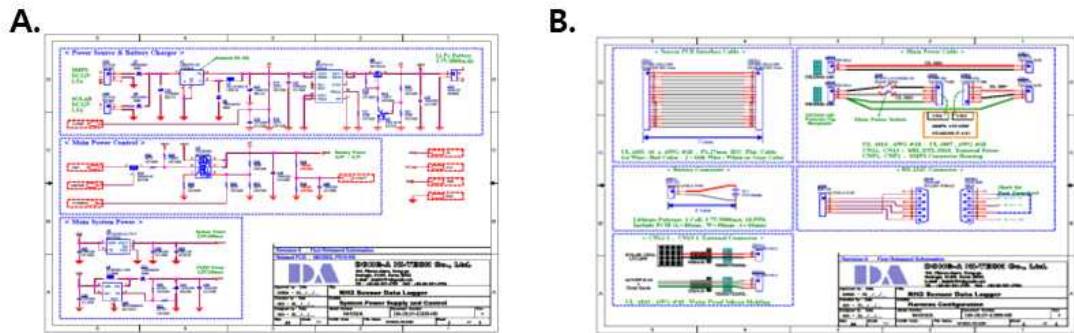


그림 100. 전원 공급 및 제어 파트의 설계도. (A) Power 회로도, (B) Harness 회로도

○ 축산 악취 인자 검출 센서 외장 케이스 제작

- 외부 환경 요인으로부터 각 파트를 보호하여 내부로 전달되는 환경 스트레스를 제어하며, 축산 악취 센서 시스템의 조작부 및 디스플레이가 장착될 외장 케이스를 제작함
- 또한, 악취 인자 검출을 위한 외부 공기 유입 통로와 전원파트, 정보통신파트의 활용면을 고려하여 기능성이 용이한 위치 디자인을 진행함

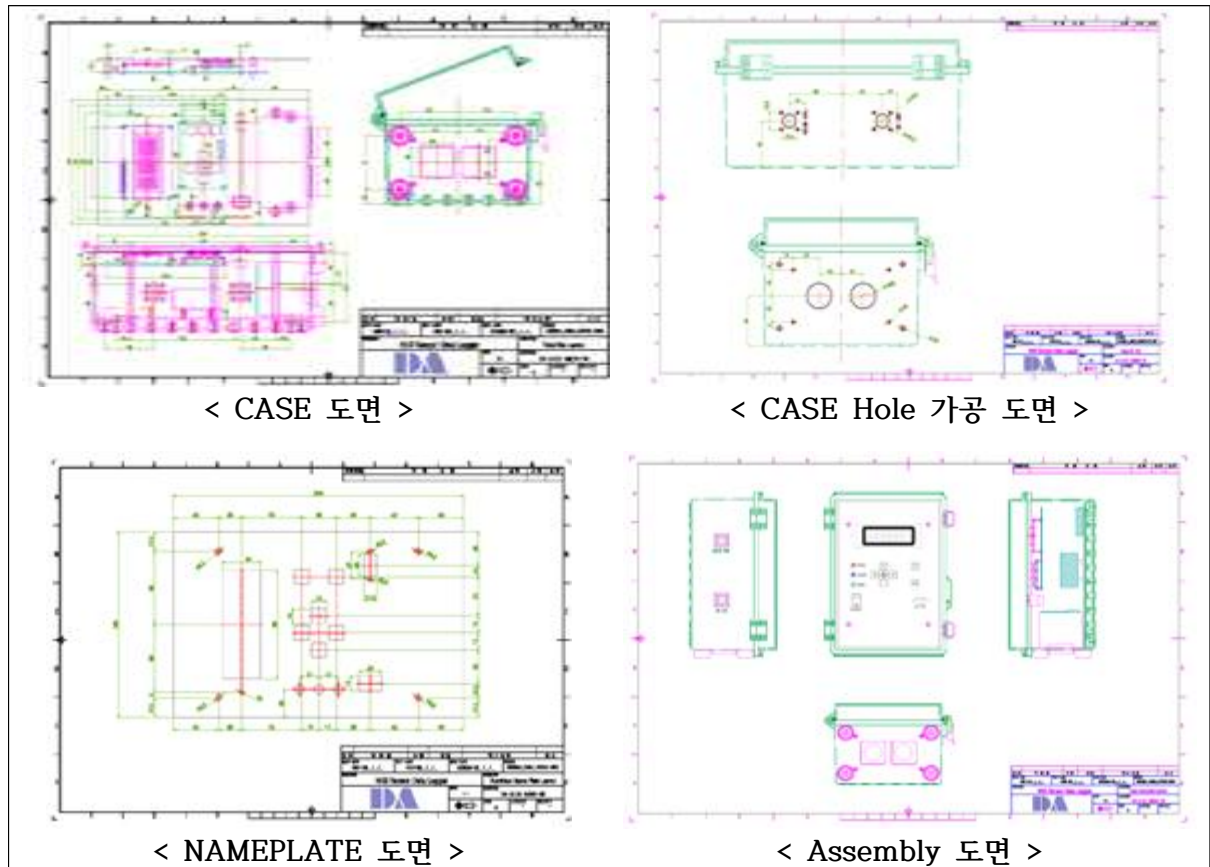


그림 101. 축산 약취 인자 검출 센서 외장 케이스 도면

○ 축산 약취 인자 검출 센서파트 챔버 제작

- 대표적 축산 약취 인자인 암모니아의 농도를 정밀하고 분명하게 분석하기 위하여 센서부를 외부에 직접 노출 시키는 방식이 아닌 장비 내부에 위치하도록 설계함
- 암모니아 센서의 외부 노출을 막아서 내구성을 높이고, 기계적으로 FAN을 통해 외부 공기를 일정한 유속으로 흘려주어 바람, 습도, 햇볕 등 외부 환경에 대한 데이터 오염을 최소화할 수 있음
- 또한, 실험실 내 연구도 함께 병행하기 위하여 실험용 용기에 직접 연결이 가능한 외부 챔버도 함께 제작함

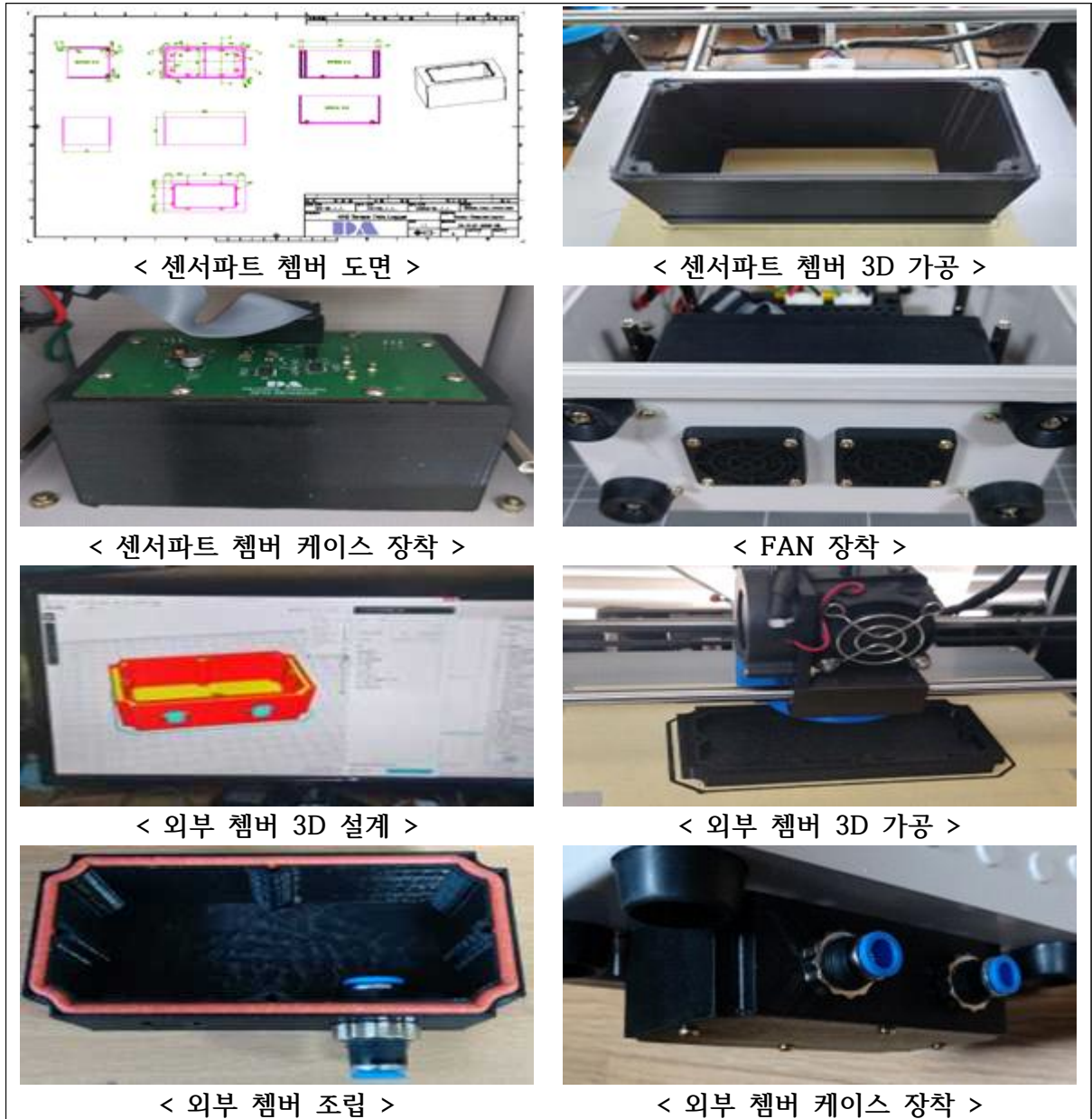
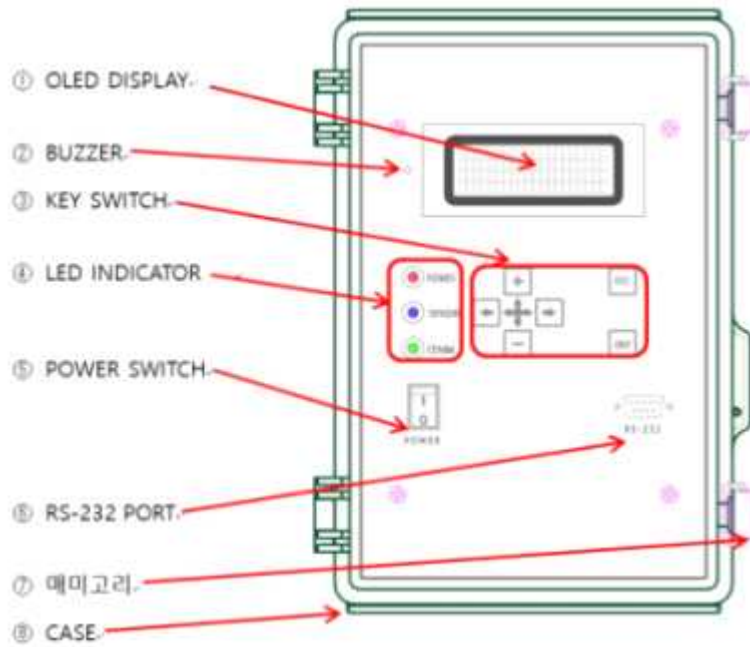


그림 102. 축산 약취 인자 검출 센서 챔버 제작

○ 축산 약취 인자 검출 센서 운용 시스템 설명



< 전면부 >

① OLED DISPLAY

- RAYSTAR REC002004AYPP5N00000
- 20 Characters X 4 Line
- Yellow Character, Black Background
- Operating : 5V, -40 ~ 80°C

② BUZZER

- 동작 상태 알림, 이상 동작 알람

③ Key Switch

- Left, Right, Up(+), Down(-)
- ESC(Escape), ENT(Enter)
- 메뉴선택, Parameter 수정 및 설정

④ LED INDICATOR

- POWER : 기기 전원이 투입되어 동작 시 적색 LED 점등, 기기 이산 시 점멸
- SENSOR : Sensor 측정 개시부터 측정완료 동안 청색 LED 점등, Sensor 이상 시 점멸
- COMM. : RS-232 통신 라인 접속 시 점등, 통신 이상 발생 시 점멸

⑤ POWER Switch

- Main Power Switch
- Parameter 설정에 의해 소프트 키로 전원 ON/OFF 가능

⑥ RS-232 PORT

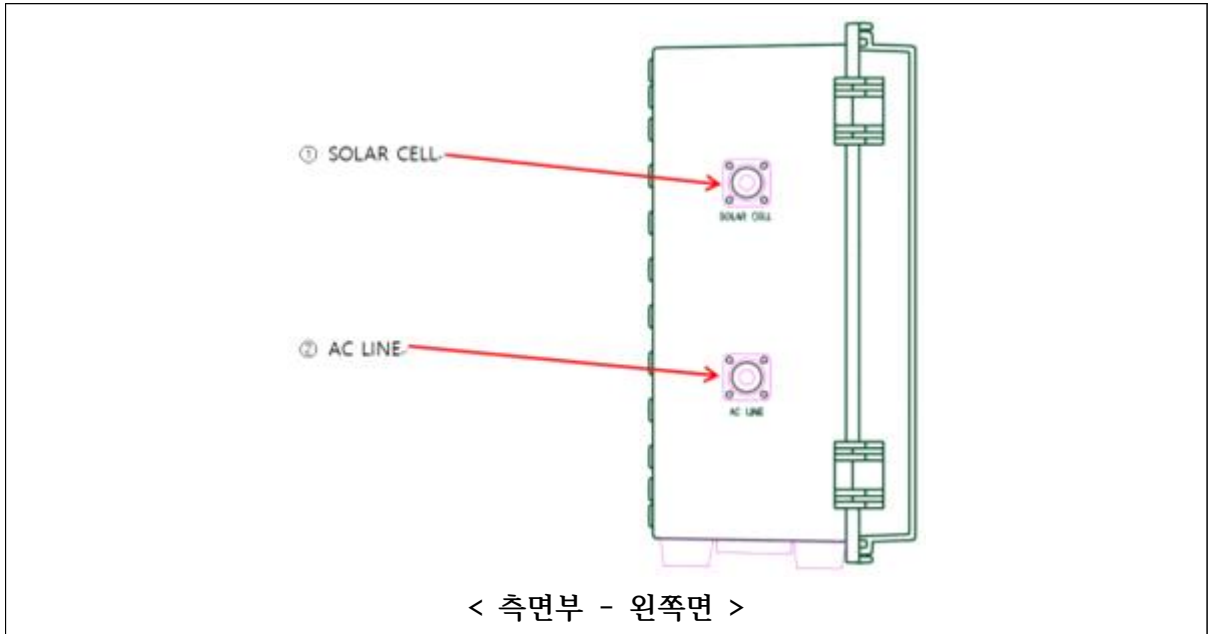
- RS-232C직렬 통신용 포트
- 기기에 저장된 Sensor Data의 Download
- 기기의 Firmware Upgrade

⑦ 메모고리

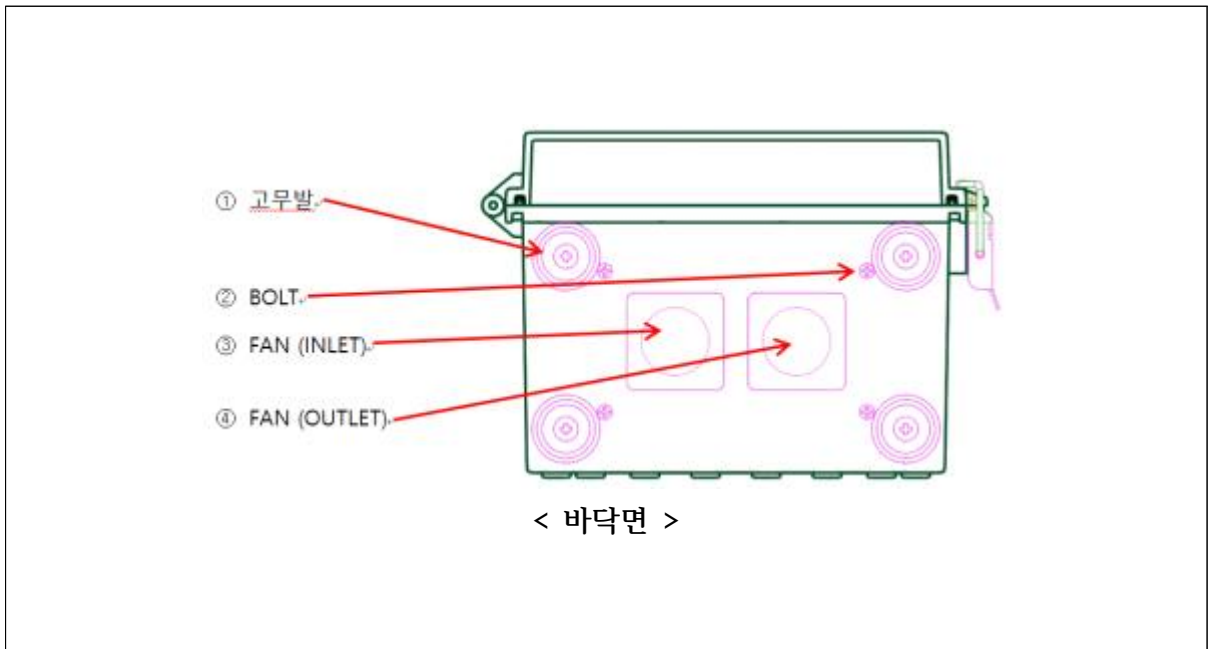
- CASE 전면 투명 Cover 잠금 장치

⑧ CASE

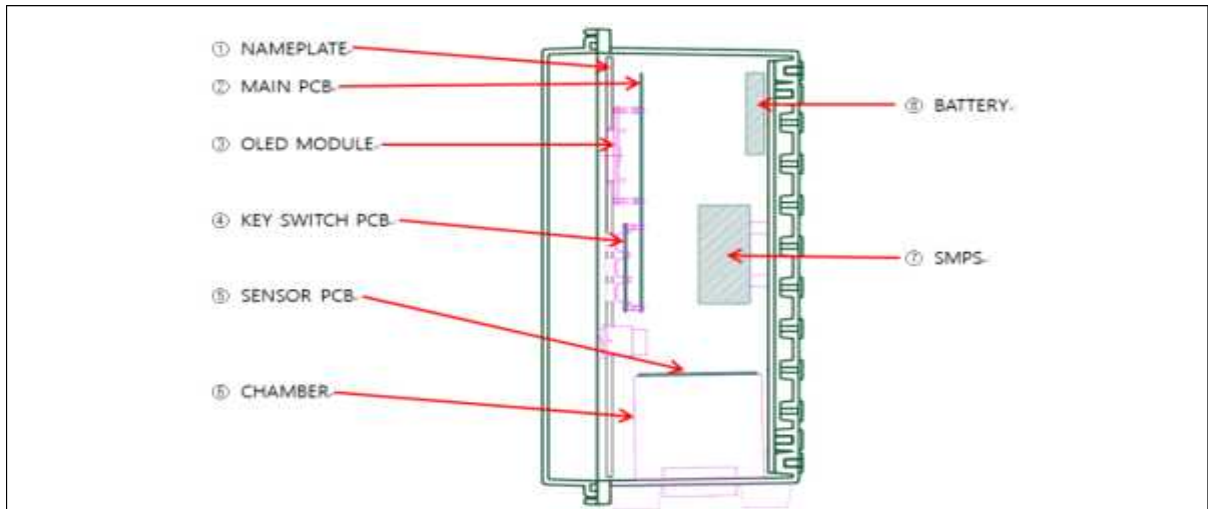
- 방수, 방진, 내열 케이스



- | | |
|---|---|
| <p>① SOLAR CELL (Option)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 외부 태양 전지 연결용 방수 Connector - 정격 12~24V / 15~18W Panel 사용 | <p>② AC LINE</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상용 전원 연결용 방수 Connector - AC 110~240V / 1A / 60Hz + 접지 |
|---|---|



- | | |
|--|---|
| <p>① 고무발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기기를 수평 바닥에 설치하기 위한 부품 <p>③ FAN (INLET)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensor Chamber에 대기를 환기 시키기 위한 흡입 FAN - Sensor 측정 전 설정된 시간 만큼 동작 | <p>② BOLT</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기기 내부의 Sensor Chamber를 고정하기 위한 볼트 - M3 x 10mm <p>④ FAN (OUTLET)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensor Chamber에 대기를 환기 시키기 위한 배출 FAN - Sensor 측정 전 설정된 시간 만큼 동작 |
|--|---|



< 측면부 - 왼쪽면 >

① NAMEPLATE - Aluminium t=3.0mm, 표면 부식 처리	② MAIN PCB - MCU Board - 2-Layer, t=1.6mm, FR4
③ OLED MODULE - Yellow Character, 20 Characters X 4 Line	④ KEY SWITCH PCB - 6 Tactile Switch Board - 2-Layer, t=1.6mm, FR4
⑤ SENSOR PCB - NH3 Sensor + Amplifier, Temperature + Humidity Sensor, Barometric Sensor - FAN Controller - 2-Layer, t=1.6mm, FR4	⑥ CHAMBER - Sensor 측정용 Air Ventilation Chamber - Sensor PCB + Chamber
⑦ SMPS (Switching Mode Power Supply) - Main 전원용 스위칭 파워 - Input 220V/60Hz , Output DC12V/15W	⑧ BATTERY - Sensor 측정 Data 보관 및 Backup용 - 정전 시 동작 및 대기 시 Solar-Cell 충전 - Lithium - Polymer Battery (PCM), 3.7V (4.2V) / 5000mAh

표 54. 측산 악취 인가 검출 센서 운용 시스템 회로 설명

① Main Control : NH3SDL_1-MCU_NM-DL01-E010-R0-200630 - MCU : ARM Cortex-M1 Core 사용, STM32F103RBT6, 128KB, 72MHz - Flash Interface : Sensor 측정 Data 저장, Log > 20,000 - Rs-232 Serial Communication Interface : 1,200 ~ 115,200 bps 지원
② System Power Supply and Control : NH3SDL_2-POWER_NM-DL01-E020-R0-200630 - Power Source & Battery Charger : AC 전원과 태양전지 전원 공통 사용, Li-Po 정전류-정전압 충전 - Main Power Control : Hard/Soft 전원 ON/OFF를 모두 지원 - main System Power : MCU와OLED및 주요 전원 공급
③ NH3, Temperature, Humidity, Barometric Sensor : NH3SDL_3-SENSOR_NM-DL01-E030-R0-200630 - NH3 Sensor : 미세전류 증폭회로, Sensor 전원 ON/OFF 기능 - FAN Control : Sensor 측정 시 사전 대기 환기를 위한 흡배기 FAN 제어
④ Control Key Switch : NH3SDL_4-SWITCH_NM-DL01-E040-R0-200630 - Key 입력 회로 - Soft 기능 키 지원

○ 축산 악취 인자 검출 운용 시스템 검교정 실시

- 암모니아 센서 측정의 신뢰성을 높이기 위하여 건식 표준 가스 (암모니아 52.7ppm)를 사용하여 센서 검교정 실시 후 시험 성적서를 발행 받음

	<p style="text-align: center;">시험 성적서 TEST REPORT</p> <p>표준환경시험연구원(주) 220-0915 강원도 동해시 남해로 177호 TEL : 033-242-5380 FAX : 033-242-5377</p> <p>페이지: 1 / 1 / (총 2) Page of Pages</p> <p>1. 개요 (General) - 시 명 (Name): 센서교정시험 - 수: 20200917, 업무일시: 2020-09-17</p> <p>2. 측정 (Test Subject) - 기 기 명칭 (Name): Gas Forteger - 제조사 (Manufacturer and Model Name): 대이 테크 NH3SDL - 기기 번호 (Number): NH3007</p> <p>3. 시험일자 (Date of Testing): 2020.09.17</p> <p>4. 시험환경 (Environment) - 온도 (Temperature): 20.1 ± 0.1 °C, 습도 (Humidity): 65.7 ± 0.3 %RH - 교정용 표준가스: 불-점진정량(Powermark Calibration Gas) (이동국량(Mob. & Lab.) 점진정량(On Site Calibration))</p> <p>5. 시험방법 (Test method) 이와 시험의 특수조건이 존재 (Use of Special Conditions) 여부: <input type="checkbox"/> 존재 <input checked="" type="checkbox"/> 없음</p> <p>시험에 사용한 표준값의 명칭 (List of Used Standards/Specialization)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>기준</th> <th>제정/개정 일자</th> <th>기준명</th> <th>용량/용량 허용 오차</th> <th>유량기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ISO17025</td> <td>2005.08.01</td> <td>ISO17025:2005</td> <td>2000.0000</td> <td>2020.09.17</td> <td>유량기</td> </tr> <tr> <td>ISO17025</td> <td>2005.08.01</td> <td>ISO17025:2005</td> <td>2000.0000</td> <td>2020.09.17</td> <td>유량기</td> </tr> </tbody> </table> <p>6. 시험결과 (Test result) - 시험결과 첨부 (Other attached file)</p> <p>수. 일: 2020.09.17 시험자 (Tested By): 김성민 (Kim Seung Min) 검. 직: 김성민 (Kim Seung Min) 기. 직: 김성민 (Kim Seung Min)</p> <p style="text-align: right;">2020.09.15</p> <p style="text-align: center;">표준환경시험연구원(주) 대표인 Research Institute of Standard for Environmental *이와 시험의 정확도 및 신뢰성은 본 시험의 목적에 따라 달라질 수 있으며, 본 시험의 결과는 본 시험의 목적에 따라 달라질 수 있습니다.* (Under the conditions specified in the test report, the accuracy and reliability of the test results may vary according to the purpose of the test.)</p>	기준	제정/개정 일자	기준명	용량/용량 허용 오차	유량기	ISO17025	2005.08.01	ISO17025:2005	2000.0000	2020.09.17	유량기	ISO17025	2005.08.01	ISO17025:2005	2000.0000	2020.09.17	유량기
기준	제정/개정 일자	기준명	용량/용량 허용 오차	유량기														
ISO17025	2005.08.01	ISO17025:2005	2000.0000	2020.09.17	유량기													
ISO17025	2005.08.01	ISO17025:2005	2000.0000	2020.09.17	유량기													
<p>< 암모니아 센서 검교정 ></p>	<p>< 검교정 시험성적서 ></p>																	

○ 축산 악취 인자 검출 센서 운용 시스템 소프트웨어 소스코드

```

/***** (C) COPYRIGHT 2020 DONGA HI-TECH R&D Lab. *****/
* Project      : NH3SDL-V1M0R1.C
* Version     : 1.1 Release-2
* Date       : 2020-09-17
* Author     : K.H.Hwang
* Company    : DONGA HI-TECH Co.,Ltd.
* Comments   : NH3 Gas Concentration Logging System_Standard Version-1.0
* Chip type  : ARM CORTEX-M3 STM32F103RBT6
* Program type : Application
* Clock frequency : External Crystal 8.000000 MHz - Internal PLL 72MHz
* Memory model : MEDIUM Density
* External RAM size : 0
* Ext. SRAM wait state : -
* Data Stack size : 0x800
*****/

/***** <<< SOURCE INFORMATION >>> *****/
* NH3SDL Firmware 20200917 DONGA HI-TECH R&D Lab. K.H.Hwang
*-----*
* CPU : STM32F103RBT6 (Cortex-M3 Core)
* Clock : External Crystal 8.000000MHz (PLL Drive : System Clock 72MHz)
* Int.ROM : 128KByte (Flash)
* Int.RAM : 20KByte
* Ext.ROM : SPI Serial Flash Memory 2Mbit (SST25VF020B-80-4C-SAE : 256KByte)
* Ext.RAM : None
* Display : 20 Characters x 4 Line Yellow Color OLED (REC002004AYPP5N00000, Driver RS0010 Parallel Interface)
* Etc. : Option-1 >>> LoRa RF Module
*-----*
* Compiler : IAR EWARM V7.50.2.10505 (Shared Components V7.3.2.4037)
* Core Source : ARM CMSIS(Cortex Microcontroller Software Interface Standard) V1.3 (2009.10.30)
* Libraries : ST STM32F10x Standard Peripheral Library V3.5.0 (STSW-STM32054)
*-----*
* < Version Note and Release History >
* Ver1.0 - R1 : 20190630 Hwang Kun Ho
* - First Prototype Firmware for Product
* Ver1.1 - R2 : 20190917 Hwang Kun Ho
* - Modifying SFM Save_Log() Function
*****/
    
```

○ S-masking 시스템 구성 파트 개선

- 지난 3차년 연구에서 제작된 악취인자 감지 시스템은 수명 및 전력 사용에 대한 효율성이 높은 OLED 기반의 모니터(MONO)를 설치하였으나, 제한된 공간(화면) 내에 제시할 수 있는 정보(분석 결과)의 한계가 있어 이를 TFT LCD 모니터로 변경함
- OLED는 셀(Cell) 안에 증착되어 각각 R/G/B 3가지 색상의 빛을 발산하는 유기소자 3개가 하나의 픽셀을 구현하는데, 화면상에 백색 이미지를 띄우기 위해서는 OLED 패널이 가지고 있는 모든 픽셀들이 빛을 발산해야 하며 모든 유기소자에 전류가 흐르도록 전력 공급이 요구되기 때문에 발열과 소비전력이 최대치에 이르게 됨
- LCD는 백라이트에서 발상한 빛이 액정(Liquid Crystal)에 의해 굴절되어 컬러필터를 투과하는 빛의 양을 조절함으로써 픽셀을 구현하는 방식이며 표현되는 이미지에 상관없이 항상 백라이트가 들어와야 함에 따라 전력 소모가 꾸준히 발생되지만, 화면 자체의 밝기 조절에 따라 소비전력의 조절이 가능함

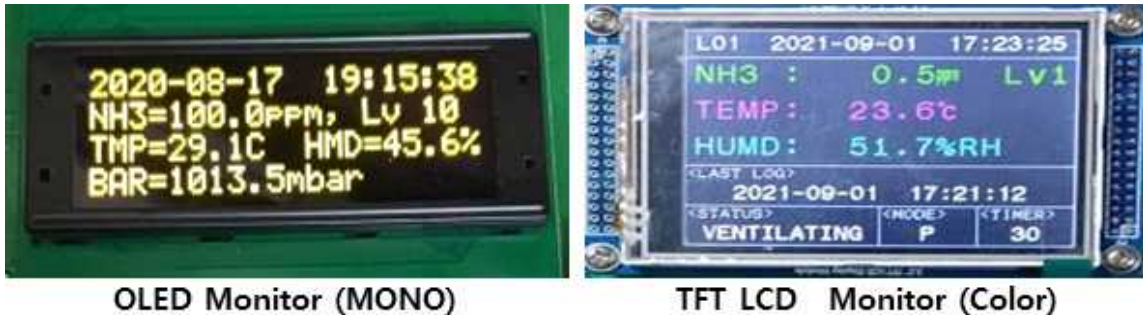


그림 103. 축산 악취 감지 센서의 디스플레이 방식 변경

- LCD의 경우에는 Black, Grey 그리고 White 모두 일정한 수준의 전력소모량으로 예상되며, OLED의 경우에는 Black, Grey, White로 가면서 점차 소비전력이 증가하게 되지만, 화면상에 표현되는 항목의 증가와 가시성 향상을 위해 화면의 크기를 키우고 소비전력이 상대적으로 낮은 Color TFT LCD를 적용함
- 이어서, 축산 악취인자 검출 센서 운용 시스템의 H/W를 사용자 편의에 맞춰 일부 개선함
- 악취 인자를 감지하고 농도에 따른 S-masking 시스템의 구동을 결정하는 센서 운용 시스템에는 메인컨트롤, 디스플레이, 센서, 배터리, 전원공급을 위한 5가지 주요 파트로 구성됨
- 메인컨트롤 파트는 신호처리를 위한 중앙 제어프로세서로서 신뢰성 확보를 위한 basic과 산업용 멀티테스킹이 가능한 ladder logic를 사용하여 활용도를 확장함
- 디스플레이 파트는 악취 원인물질의 농도를 감지하여 파라미터(parameter)로 나타내는 Color TFT LCD Display와 메뉴 선택, 파라미터 수정 및 설정이 가능한 Key switch를 적용
- 센서 파트는 암모니아 감지 센서와 온습도 센서의 개별 또는 복합 적용이 가능하도록 하였으며 챔버 구조를 적용하여 H/W의 내구성과 데이터의 안정성을 확보함

- 배터리(Battery) 파트는 정전시에도 센서에서 측정된 데이터의 보관과 백업 파일 유지에 사용되는 전기가 지속적으로 유지되도록 추가함
- 전원공급 파트는 DC 12V의 정전압 전원을 공급하는 SMPS를 사용함

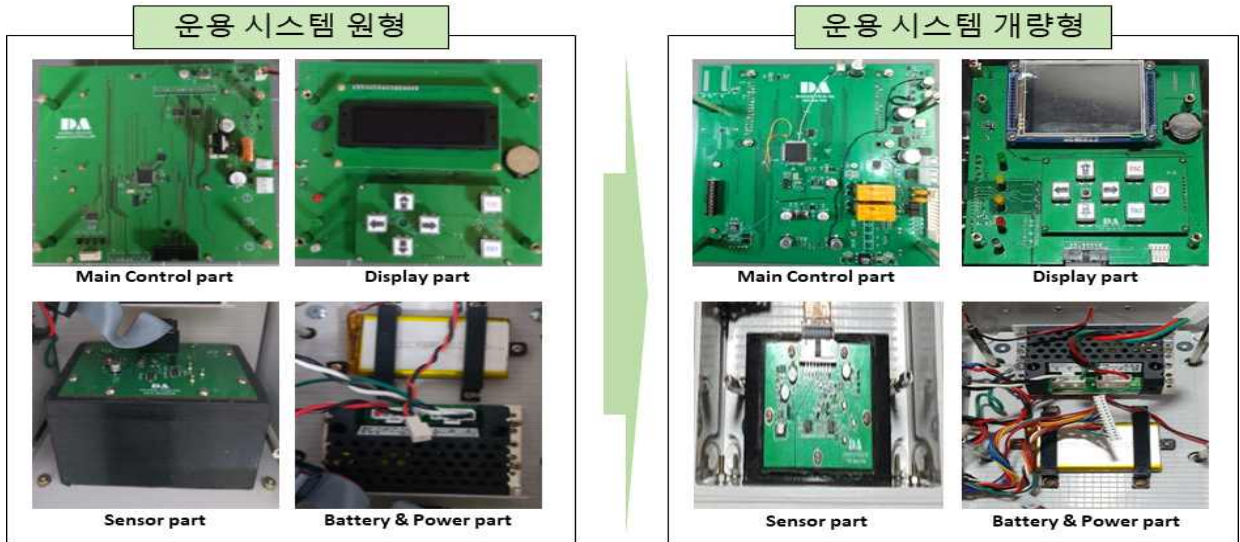


그림 104. 축산 약취인자 검출 센서의 운용 시스템 구축

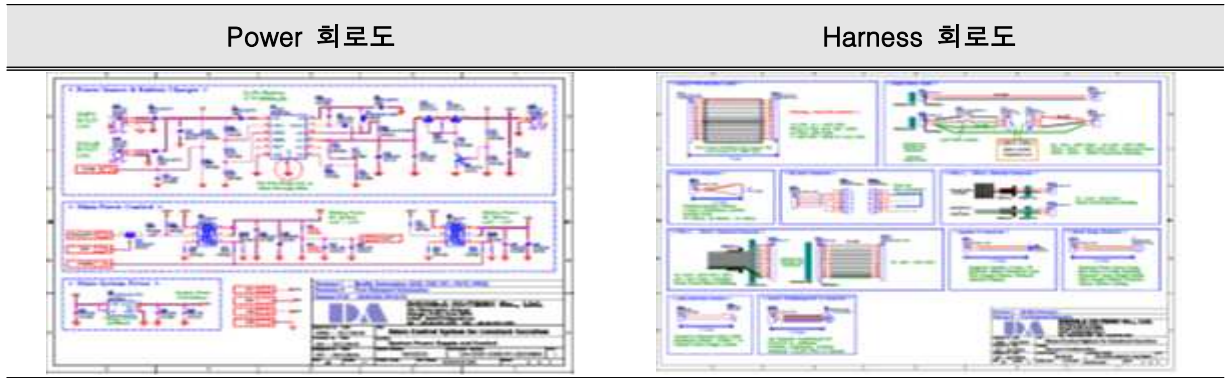
- 센서 운용 시스템 구축을 위하여 메인, 센서, key switch PCB 제작을 위하여 회로도 및 Gerber 파일을 제작함

표 55. 축산 약취인자 검출 센서 하드웨어(PCB) 제작

구분	Main	Sensor	Key switch
회로도			
Gerber 파일			
PCB			

- 이와 더불어 DC 전원 공급 및 비상 배터리의 전원 공급 등을 제어하며 각 파트별로 일정한 전력이 공급되도록 제어하는 전원공급 회로도를 설계함
- 또한, 전기/전자 장치의 작동을 위한 배선 연결 디바이스 구성을 위하여 Harness 회로도를 설계하여 시스템 부하 용량, 전원 분배 및 코넥터 등 각각의 설계 요건에 맞도록 시스템을 개량함





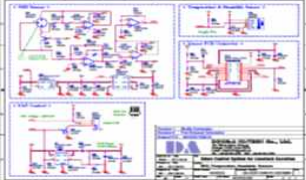

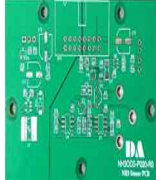

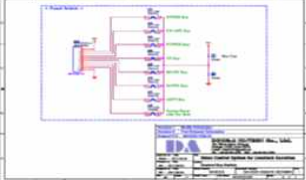
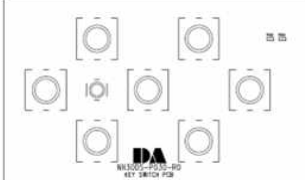
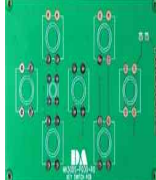

표 56. 전원 공급 및 제어 파트의 회로도 개량형



○ S-masking 시스템 외장 케이스 및 센서 챔버 개량

- 외부 환경 요인으로부터 각 파트를 보호하며 내부로 전달되는 환경 스트레스를 제어하며, 축산 악취 센서 시스템의 조작부 및 디스플레이가 장착될 외장 케이스 원형을 개량하여 시스템의 안정성을 향상시킴

표 57. 축산 악취인자 감지 센서 구동을 위한 회로도 설계 및 PCB 제작

구분	회로도	Gerber 파일	PCB	
Main				
Sensor				
Key switch				

- 이와 더불어 DC 전원 공급 및 비상 배터리의 전원 공급 등을 제어하며 각 파트별로 일정한 전

력이 공급되도록 Power 회로도 개량형을 설계함

- 또한, 전기/전자 장치의 동작을 위한 배선 연결 디바이스 구성을 위하여 Harness 회로도를 설계하여 시스템 부하 용량, 전원 분배 및 커넥터 등 각각의 설계 요건에 맞는 시스템이 되도록 이를 개량함

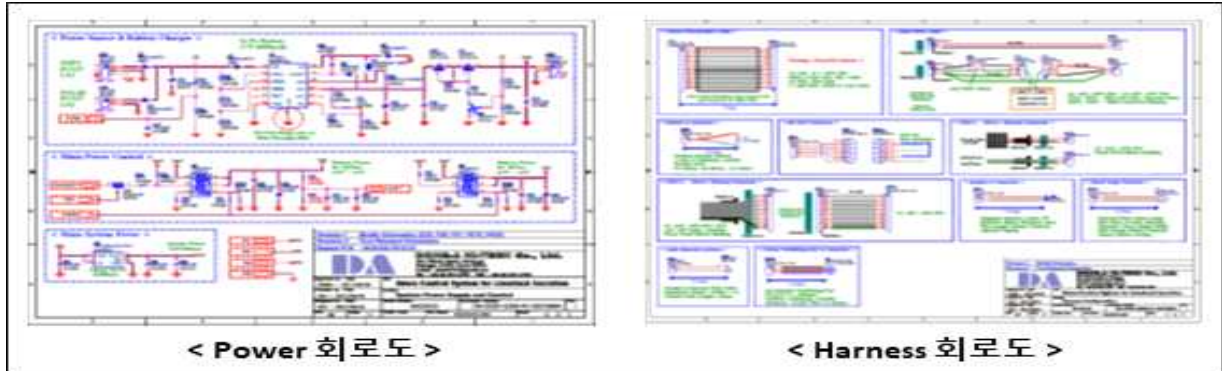


그림 105. 전원 공급 및 제어 파트의 설계도 개량형

○ 축산 악취 인자 감지 센서 챔버 및 외장 케이스 개선

- 외부 환경 요인으로부터 각 파트를 보호하여 내부로 전달되는 환경 스트레스를 제어하며, 축산 악취 센서 시스템의 조작부 및 디스플레이가 장착될 외장 케이스 개량형을 제작함
- 또한, 악취 인자 검출을 위한 외부 공기 유입 통로와 전원파트, 정보통신파트의 활용면을 고려하여 기능이 용이하도록 위치를 재선정함

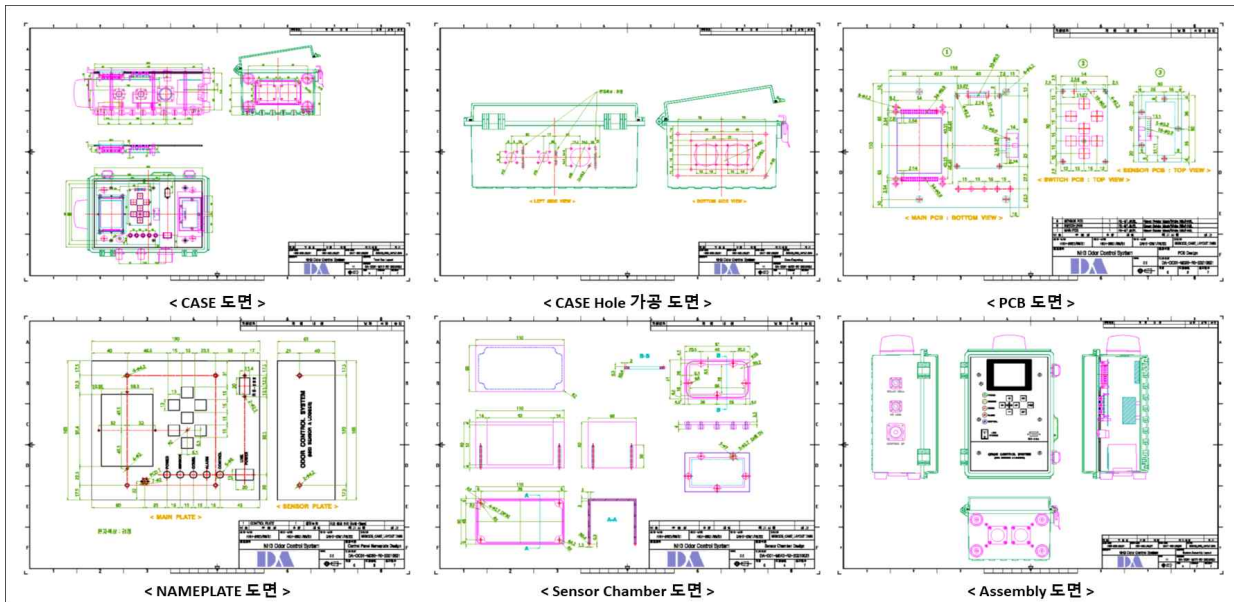


그림 106. 축산 악취 인자 검출 센서 외장 케이스 도면

- 악취 원인 물질 중 공기 내 암모니아 농도를 정밀하게 분석하는 센서부는 외부 노출을 막아서 내구성을 높였고, 기계적으로 공기를 순환시켜 외부 공기를 일정한 유속으로 흘러가도록 챔버의 개선품을 제작함

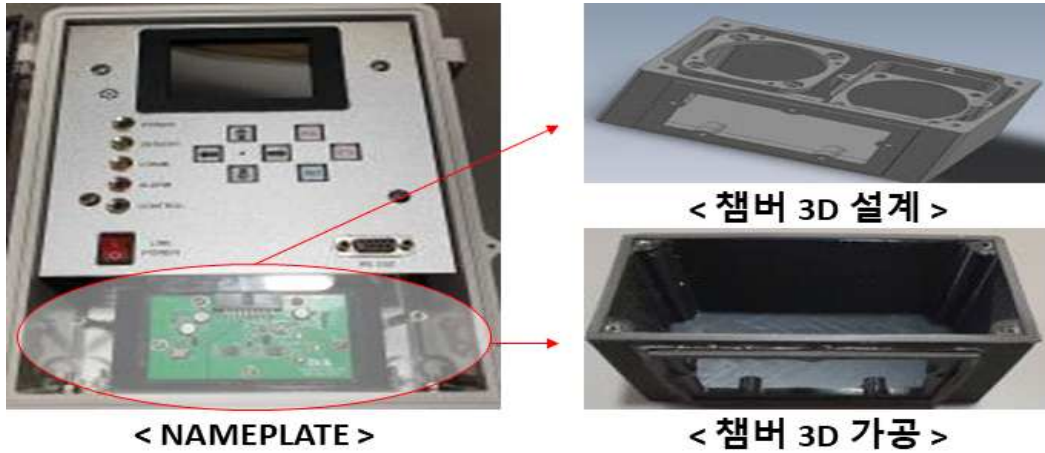


그림 107. 축산 악취 인자 검출 센서 챔버 개량 및 내부 도입

○ 복합미생물제제 분사장치 설계 및 제작

- 축산 농가 내 S-masking 시스템 도입을 위하여 복합미생물제제의 분사 장치를 설계함
- 해조류 분말이 포함되는 복합미생물제제는 공기 중 습기를 쉽게 흡수하는 하여 분사 노즐의 잦은 막힘이 우려됨
- 농장 내 설비 형태로 들어가는 S-masking 시스템의 관리가 용이하면서, 넓은 지역에 골고루 분사/도포 가능한 장치를 개발하기 위하여 2가지 안을 고려함

표 58. 복합미생물제제 분사장치 설계

분사장치 1안		분사장치 2안	
전체 도식	분사장치부(모터)	전체 도식	분사장치부(호퍼)

- 분사기 1안은 프레임 중앙에 위치한 모터의 머리 부분에 제제를 채울수 있는 바스켓을 결합/연결하고 모터의 강력한 회전에 의해 발생하는 원심력으로 원형의 형태로 제제가 도포되는 형태임
- 1안은 장치 제작에 소요되는 비용이 저렴하고, 설치 위치 변경이 용이한 반면, 모터 회전에 의존하여 분사됨에 따라 분사량 조절이 어렵고, 원심의 중심부 하단에는 도포량이 상대적으로 낮아지는 단점이 있음
- 분사기 2안은 별도 분말을 저장하는 호퍼(Hopper)의 이동과 감속 모터에 연결된 샤프트(Shaft)를 회전으로 호퍼에 저장된 제제가 도포되는 형태임
- 2안은 모터 회전 속도와 샤프트 홈 구경의 조절에 따라 제제의 도포량 조절이 용이하나 제작 및 시공비용이 상대적으로 높으며 설치 위치 변경이 제한됨
- 축사에서 발생하는 악취 제어 및 환경 개선의 목적에 따라 냄새 원인 물질 제어에 탁월한

본 연구팀의 복합미생물제제의 효능이 원활하게 작용하기 위해서는 상대적으로 도포량을 고르게 조절할 수 있는 분사기 2안의 설계가 적합할 것으로 판단되어 이를 제작함

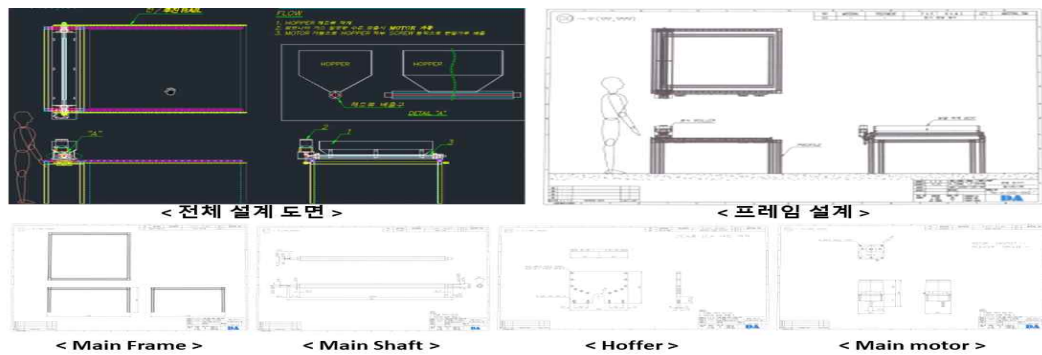


그림 108. 복합미생물제제 분사 장치 설계

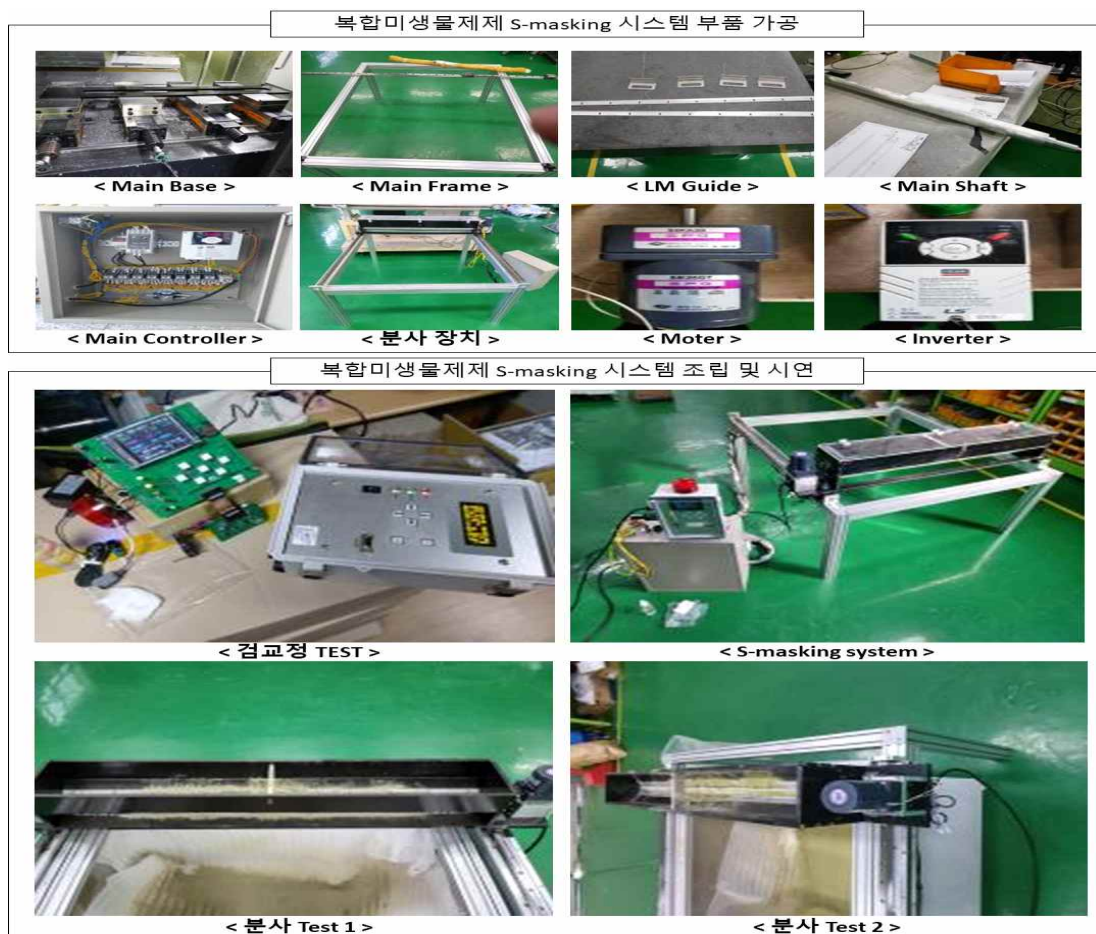


그림 109. 복합미생물제제를 적용한 S-masking 시스템 장치부 설계 및 제작

(4) 축산 농가 S-masking 시스템 현장 실증 및 악취 확산 모니터링

가. S-masking 시스템 현장 적용 예비 연구

○ 천연물 소재 복합미생물제제의 현장 적용 예비 연구

- 실험실에서 수행한 연구 결과를 토대로 천연물 소재를 포함하는 복합미생물제제의 효능 실증 연구를 수행함

- 본 연구과제에서 수행한 축산 농가 네트워크 구축 과정에서 예비 선정된 농가를 대상으로 실증 연구에 대한 사전 조율을 실시하였고 총 9,000두 규모(모돈 700두)의 유한피그영농조합의 협조를 받아 현장 적용 연구를 수행함
- 본 연구에서 최초 고려하였던 사육장 내 S-masking 시스템 적용 연구는 외부인의 출입에 제한이 있어 농장 내에 위치한 퇴비장을 대상으로 수행함
- 사육장에서 배출된 분뇨는 액체와 고체의 큰 기준으로 나뉘고, 주기적으로 슬러리 형태의 분뇨를 고정 퇴비장에 퇴적하여 자연발효를 유도함
- 분뇨 발효과정에서 발생하는 악취 가스의 주변 확산을 방지하기 위하여 대부분의 퇴비장은 폐쇄형으로 설비됨
- 밀폐된 공간에서 누적된 악취 가스의 양이 상당하여 축사 노동자들도 환기 후 퇴비장에 출입이 가능하다고 설명함
- 실제 본 연구자들의 사전 방문 날에도 전방의 출입구와 측면의 환기창을 모두 열어 환기를 진행 하였어도 눈이 따가울 정도로 악취 가스가 쌓여 있어 환기 시작 10여분 내에는 퇴비장에 출입하기 어려웠음
- 이는 퇴비장 설비 내 낮은 산소포화도 등의 악조건에서 무산소나 약산소 조건에서도 생식이 미생물로 구성된 복합미생물제제의 효능이 기대되는 한편, 해조류 분말의 표면 코팅에 의한 냄새 물질 확산 방지 효과에 집중하여 연구를 수행함



그림 110. 천연물 소재를 포함하는 복합미생물제제의 현장 실증연구. 돼지 분뇨 발효에 따른 악취 물질이 누적되어 발생하는 퇴비장에 복합미생물제제를 처리하여 효능을 검증함 (A) 폐쇄형의 퇴비장 전면부, (B) 처리 전 악취 물질 확인, (C) 퇴비장 전면부 처리, (D) 퇴비장 측면부 처리

- 연구팀의 복합미생물제제는 상층부 표면에 도포되어 신속하게 악취 물질 확산을 방지하고 걸표면에서 내부로 지속적인 악취 물질을 제어함
- 따라서 출입문이 설치된 퇴비장 전면과 환기창이 있는 측면부를 최대한 활용하여 퇴비장 전체에 복합미생물제제가 도포되도록 함



그림 111. 돼지 농장 고품 퇴비장 내 복합미생물제제 분사 전·후 현장 사진. 천연물 소재가 함유된 복합미생물제제를 돼지 분뇨 상층부 전면에 골고루 살포함

- 현장 실증 연구 중, 돈사에서 발생하는 고품 돼지 분뇨가 주기적으로 퇴비장에 추가되는 상황이 발생됨
- 따라서, 최초 퇴비장 출입구(앞쪽)와 측면 3곳에서 진행하던 측정을 연구 진행에 따라 측면부에서 측정하는 것으로 방향을 수정하였음
- 측정일 마다 출입구쪽에 새롭게 쌓인 돼지 분뇨에도 복합미생물제제를 도포하여 측정치의 편차를 최소화 함
- 먼저, 출입구쪽에서 측정된 수치는 다음과 같음

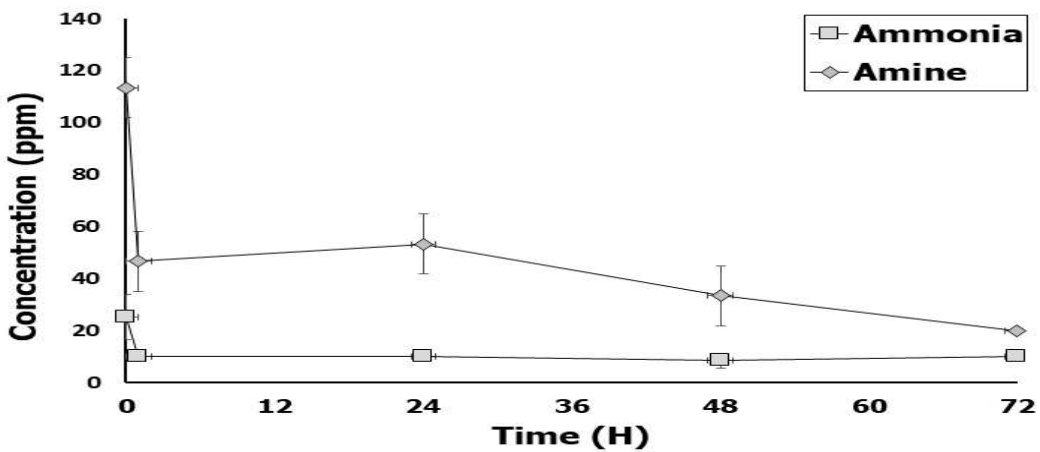


그림 112. 복합미생물제제 처리 후 퇴비장 전면부의 악취물질 농도 변화. 천연물 소재가 함유된 복합미생물제제를 퇴비장에 도포한 후 암모니아와 아민 농도 변화를 3일간 측정함

- 암모니아와 아민에 대하여 3회 이상 반복 측정하는 방식으로 도포 전, 도포 후, 그리고 24시간 간격으로 총 3일간 측정함
- 복합미생물제제 도포 직전과 직후에 암모니아와 아민 농도가 급격히 감소됨을 관찰하였으나 도포 과정에서 장시간 환기창을 열어둔 점을 고려하여 24시간 간격으로 매일 측정하기로 함
- 3일간 매일 오전 10시 전후로 농장을 방문하여 암모니아와 아민 농도변화를 기록한 결

- 과 복합미생물제제 도포 직후 측정된 수치가 지속적으로 유지됨을 확인함
- 이는 실험실에서 반응기에서 수행한 연구 결과와 일치됨

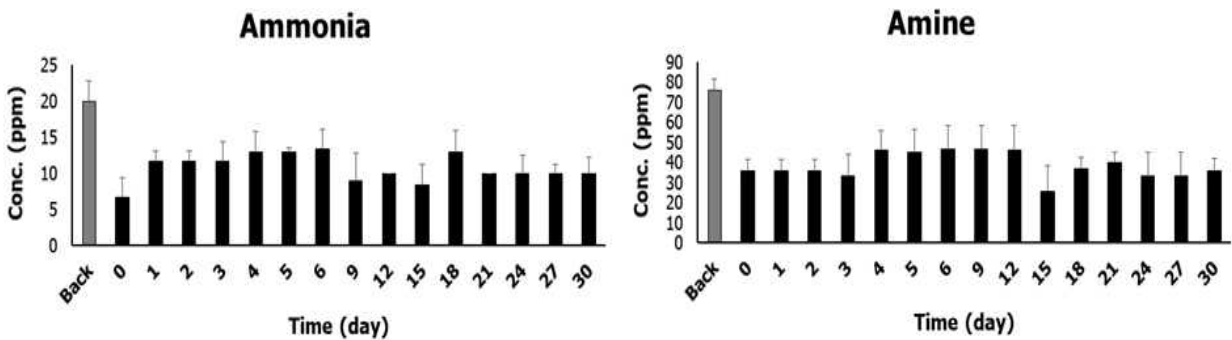


그림 113. 복합미생물제제 처리 후 퇴비장 측면부의 악취물질 농도 변화. 천연물 소재가 함유된 복합미생물제제를 퇴비장에 도포한 후 암모니아와 아민 농도 변화를 한달 동안 측정함

- 이어서 퇴비장 측면은 위치적으로 3곳을 정하여 측정을 실시함
- 도포 후 최초 6일까지는 하루 단위 변화 양상을 기록하였고 6일 이후부터는 3일 간격으로 총 기간 한달동안 암모니아와 아민의 농도 변화를 기록함
- 복합미생물제제 도포 전 측정된 수치를 기준으로 도포 직후 측정된 암모니아와 아민의 농도가 저감(제어)되어 지속적으로 유지됨을 확인함
- 현장 실증 연구 기간 동안 기본적으로 오전 10시 전후에 일정한 간격으로 측정을 진행하였으나 간혹 일정에 차질이 발생되어 정오나 오후 2시경에 측정을 진행하기도 함
- 이를 보정하기 위하여 매회 퇴비장 내 온도를 측정하였음
- 매 측정시마다 기록한 퇴비장 내 온도는 아래와 같음

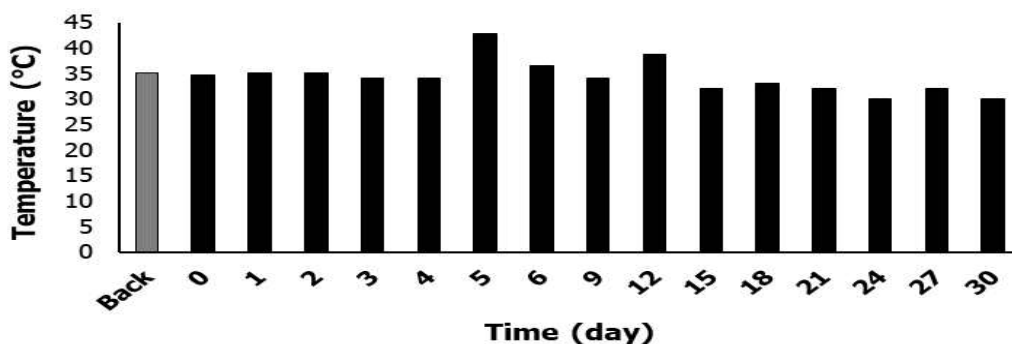


그림 114. 실증연구기간동안 퇴비장 온도 변화. 악취 확산에 있어서 온도의 상승은 주요 변수이기 때문에 매회 악취물질 측정시 온도를 함께 기록함

- 그림 114의 결과에서 측정 4일째에서 12일째 사이에 새로운 분뇨가 추가되어 수치가 증가되는 변수가 있었으며, 측정 5일째와 12일째에는 기온이 다른 날 보다 높아 이를 감안하여 실증 연구의 결과를 해석함
- 9월경부터는 아프리카돼지열병의 문제로 돼지 농가의 출입이 제한되어 지속적인 점검이 어려웠음

나. 악취물질 제어용 복합미생물제제 현장 적용

○ 복합미생물제제를 적용한 현장 모방형 Pilot-scale 축산 악취 제어 연구

- 본 연구진은 2차년 연구에서 천연물소재를 포함하는 복합미생물제제 현장 적용 연구의 일환으로 돼지 사육 농가(유한피그영농조합법인, 전북 정읍시 북면 축현길 73-3)의 약 100톤 규모의 퇴비조 2동에 적용하여 돼지 분변으로부터 발생하는 악취 물질의 저감 정도를 분석하였고, 30도 이상의 고온이 지속되는 여름철 기후에도 악취 성분이 제어되는 양상을 확인함
- 그러나, 아프리카돼지 열병과 돼지 콜레라 등 가축 전염병 발생 위험도 증가로 인하여 계획된 추가 연구 수행에 어려움이 있었음
- 3차년에 계획된 연구의 선행연구 형태로 수행하였던 2차년 현장 적용 연구 결과와 부족한 연구 내용들을 토의 하였으며, 현장 적용을 위한 제반사항을 검토하였음
- 하지만, 지난 2월부터 발병되어 현재까지도 종식되지 못한 COVID-19(코로나19) 사태로 인하여 당해연도에 계획된 복합미생물제제 현장 적용 연구 계획 수정이 불가피하였음
- 이에 본 연구팀은 넓이 4 m²(가로 2m X 세로 2m), 부피 8 m³(가로 2m X 세로 2 m X 높이 2m) 의 천막을 설치하여 이를 돼지 농가의 발효조에 준하는 설비로 설정하여 pilot-scale 악취 저감 연구를 수행함



그림 115. 복합미생물 제제를 적용한 현장 모방형 pilot-scale 악취 제어 연구. 돼지 축산 농가의 퇴액비 발효조 설비를 모방하여 천연물소재를 포함하는 복합미생물제제의 악취 저감 효능 검증을 실시함

- 악취 원인 물질은 온도가 상승 할수록 많이 유발되기 때문에 기온이 상승되는 5월말부터 6월말까지 30일 동안 연속 관찰 연구를 수행하였음
- 천막 내부에는 30리터 부피의 돼지 분뇨가 담긴 사각 수조(가로 52cm X 세로 36cm X 깊이 23cm)를 총 4개씩 준비하였고, 천막 한동을 실험군(Test)으로 명명하여 복합미생물제제를 처리하였음
- 다른 천막에는 대조군(Control)으로 명명하여 돼지 분뇨만 각 30리터씩 수조 4곳에 담아 총 120리터의 돼지 분뇨에서 발생하는 악취 원인 물질에 대하여 실험군과 비교분석 함
- 천연물 소재 복합미생물제제는 생균수 10⁸ 마리를 보장하는 고초균, 유산균, 효모 혼합 배양액 2%(v/v)을 먼저 돼지 분뇨에 혼합 30L에 혼합하여 악취 원인물질 분해를 유도하였고, 분뇨 표면에 해조류 분말 2%(w/v) 골고루 뿌려주어 masking 효과를 유도함
- 온도, 습도, 바람 등 환경적 요인이 동일하게 작용되도록 충분히 개활된 공간에서 연구를 수행함

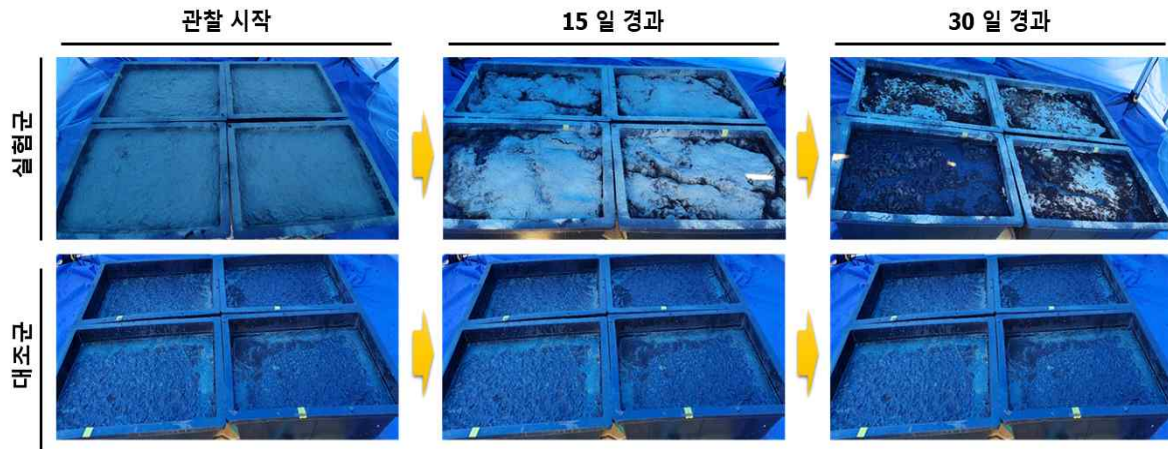


그림 116. 복합미생물 제제 처리 및 미처리 돼지 분뇨 표면 변화 관찰. 야외에 설치된 천막을 이용하여 돼지 분뇨에 복합미생물 제제를 처리하고 30일 동안 관찰 함

- 복합미생물제제 효능검증 기간동안 일정 기간을 간격으로 천막 내부의 돼지 분뇨 상태 변화를 육안으로 관찰함
- 실험군의 경우, 돼지 분뇨 표면에 도포된 해조류 분말은 15일 경과 시점까지 얇은 막 형태로 유지되어 내부에서 발생하는 악취를 효과적으로 차단되는 형태를 보였으며 약 20일 경과 시점부터 내부에서 발생하는 가스에 의해 막이 부서지면서 분뇨와 혼합되는 양상을 보여줌
- 대조군의 경우, 돼지 분뇨의 표면 변화가 30일 내내 비슷한 형태로 유지되는 것으로 보아 내부에서 발생된 악취 원인 가스가 그대로 외부로 배출되는 것으로 판단됨

표 59. 돼지 분뇨 악취의 관능 평가

Time (weeks)	대조군	실험군
1	++++	+++
2	++++	+
3	++++	+
4	++++	+
5	++++	+
6	+++	++

- 하루 단위로 천막 내부에 채워진 냄새의 정도를 직접 맡아 보며 관능 평가를 진행 한 결과, 실험군 천막에서는 실험 개시 3일차부터 돼지 분뇨 특유의 불쾌한 냄새가 점진적으로 차단되어 2주차부터는 아주 미약한 분뇨 냄새만 느낄 수 있었음

- 복합미생물제제 미처리군인 대조군에서는 실험 개시 시점부터 꾸준히 분뇨 냄새가 심하게 유지되었으며 기온에 따라 악취의 정도가 심해지기도 하였음
- 악취 관능 평가에는 매회 최소 3명 이상의 피실험자를 대동하여 진행하였으며 악취가 심한 정도에 따라 (+)의 개수를 최대 4개까지 표기함

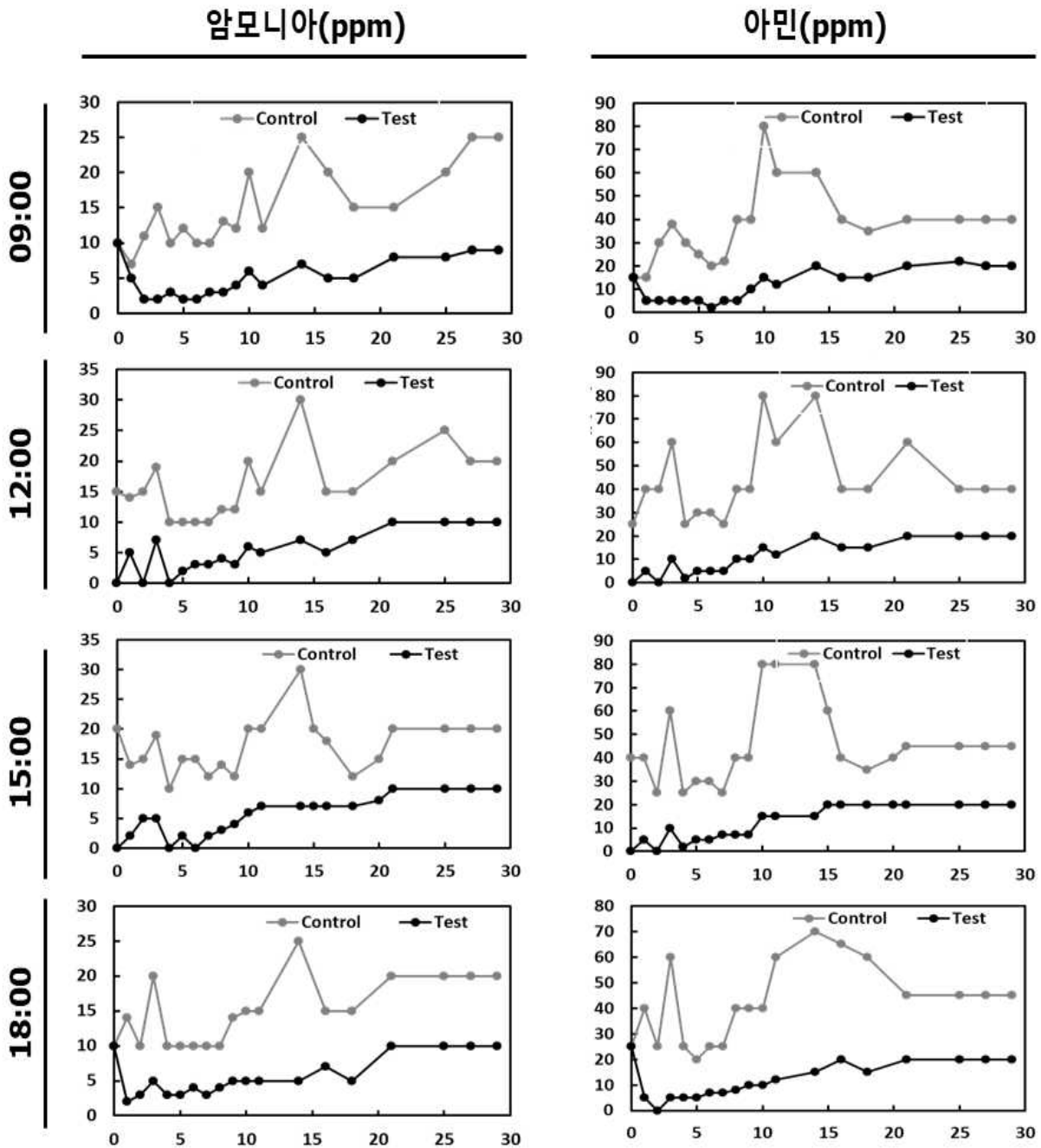
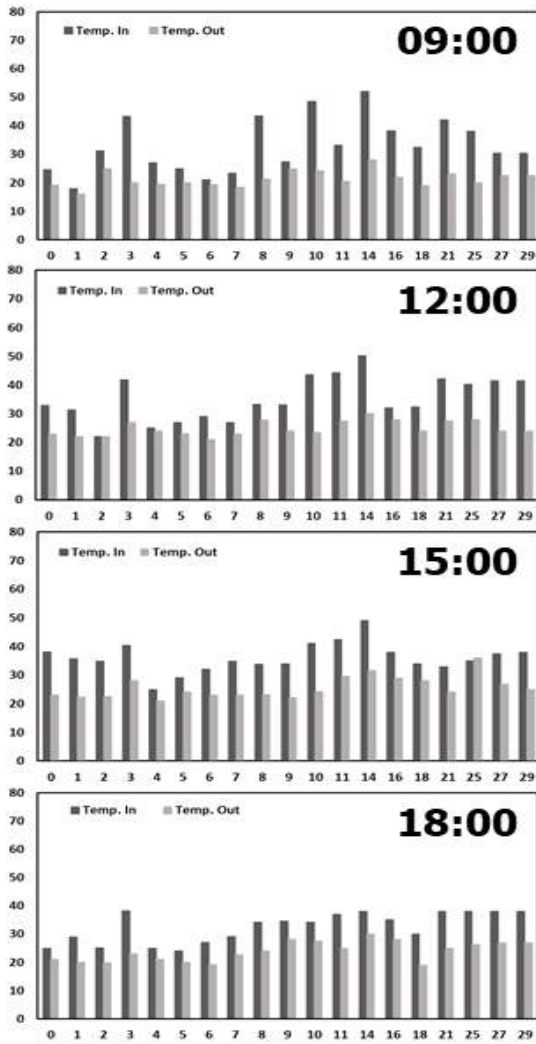


그림 117. 복합미생물 제제 처리 및 미처리 돼지 분뇨의 암모니아, 아민 농도 변화. 연구 기간동안 정해진 규칙에 맞춰 일자별, 시간별로 각 천막 내부의 암모니아와 아민 농도를 측정하여 그래프로 표현함. 모든 그래프의 Y축은 암모니아 혹은 아민의 농도(ppm)이며, 모든 그래프의 X축은 일(day) 단위의 측정 일정을 표기함

- 이어서, 실제 악취 원인 물질 농도를 수치적으로 비교하기 위하여 천막 내부의 암모니아, 아민, 황화수소의 농도를 측정 장비(GV-110 GASTEC, Japan)를 이용하여 계측함
- 연구 개시 10일 동안 하루 단위로 악취 원인 물질 농도를 측정하여 **복합미생물제제의 신속한 악취 저감 효능**에 대한 비교 분석을 진행하였으며, 10일 경과 후에는 3일 단위로 총 30일까지 분석을 진행하여 **복합미생물제제의 악취 제어 효능 지속성**에 관한 비교 분석을 실시함
- 또한, 현장에 보급될 S-masking 시스템의 매뉴얼 제작을 위하여 하루 24시간 중 9시, 12시, 15시, 18시에 측정을 실시하여 노동 인구 및 주거 인구가 가장 활발히 이동하는 일과 시간대의 악취 발생 정도를 간이로 판단 할 수 있는 자료를 준비하였고, 하루 중 악취가 가장 심한 시간대에 대한 정보를 수집함
- 더불어, 매일 평균 기온, 풍속, 풍향, 습도, 강우량 등 기상청에서 제공하는 기후 정보를 수집하여 악취 확산 및 제어 시점에 대하여 인위적으로 제어 불가능한 환경 요인으로 적용함
- 기온이 점차적으로 따뜻해지는 5월말시점에서 시작된 연구에서 실험군과 대조군의 돼지 분뇨에서 발생 혹은 제어된 암모니아, 아민 농도를 측정한 결과 대조군은 지속적으로 암모니아, 아민 농도가 증가되거나 기온에 따라 그 정도가 변칙적으로 상승 혹은 감소되는 양상을 나타냄
- 반면, 복합미생물제제가 처리된 실험군은 실험개시 첫째날에서 셋째날 사이에 암모니아, 아민의 농도가 5ppm 전후 수준으로 감소하였으며 감소된 수치가 10일이상 유지되다가 서서히 증가되는 양상을 보여 줌
- 실험군과 대조군의 암모니아 농도 차이는 최소 5ppm에서 최대 25ppm 수준이었으며 아민의 경우 최소 10ppm에서 70 ppm으로 예측됨에 따라 이는 실제 사람이 인지 가능한 수준의 악취정도로 평가됨
- 실험군에서 암모니아의 농도 변화는 최대 10ppm 미만 수준이었으며, 대조군에서 암모니아 농도 변동 폭은 최대 20ppm까지 발생됨
- 실험군에서 아민의 농도 변화는 최대 20 ppm 미만 이었으며, 대조군에서 아민 농도 변동 폭은 최대 65 ppm 까지 발생됨
- 위 결과에서 주목해야 할 부분은 복합미생물제제를 처리할 경우 1일 단위로 신속하게 악취 물질이 차단되고, 차단된 정도가 10일간 더 길게는 30일까지 지속적으로 제어되는 것에 있음
- 대조군과 실험군의 암모니아, 아민 농도가 상승되는 시점은 관찰 시작 15일 전후로 증가 폭의 차이가 있을 뿐 공통 되게 관찰됨

대조군(미처리)



실험군(처리)

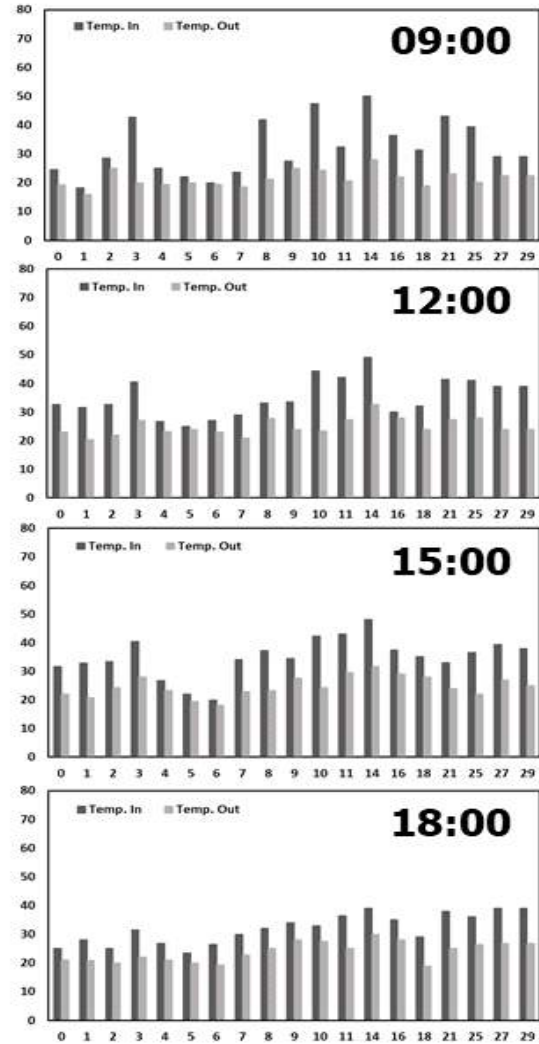


그림 118. 현장 모방형(pilot-scale) 돼지 분뇨 발효조 천막의 내외부 온도 변화. 축산 시설 내외부의 온도 변화에 따른 S-masking 구동 시점을 계산하고, 약취 확산을 방지하기 위한 매뉴얼 개발을 위하여 현장 모방형 발효조 천막 내외부 온도를 측정함.

- 기상청에서 발표하는 기후조건을 모니터링 하는 한편, 암모니아와 아민 농도 측정시 천막 안팎의 실제 온도를 매회 측정하여 이를 기록하였고, 천막 내외부의 온도 변화에 따른 암모니아, 아민 농도 변화를 상호 비교한 결과, 계측된 온도가 상승되는 시점과 일치됨을 확인 할 수 있었음 (그림 117과 118)
- 기온이 상승되는 계절적 요인에 따라 연구를 시작한 시점에서 6일 경과 이후로 점진적인 기온 상승의 양상을 관찰하였고, 14일 전후에 최대 온도(천막 내부 약 50℃, 외부 약 30℃)를 보여줌 (그림 118)
- 이는 그림 117에서, 실험군과 대조군 천막 모두 암모니아와 아민 농도가 증가되는 시점과 일치 하였으며, 대조군의 경우 14일경과 시점에서 최대 농도를 기록하였음
- 하지만, 실험군의 경우 소폭 상승의 양상만 보일뿐 대조군의 상승폭에는 매우 미미한

수준이었음

- 이러한 결과 수치의 해석은 천연물이 함유된 복합미생물제제의 효과가 축산 농가의 악취 제어에 있어서 안정적으로 이를 제어 할 수 있는 것으로 해석 될 수 있음
- 또한, 외부 온도 27~30℃ 시점에는 악취 원인 물질의 증가가 예상 되므로 S-masking 시스템의 악취 확산 방지 예측 시점으로 활용 할 수 있음

(5) 축산 악취제어용 복합미생물제제 활용 매뉴얼 개발 및 보급

가. 악취 저감용 복합미생물제제 사용 매뉴얼 확립 및 농가 보급

○ 소 분변에 대한 복합미생물제제 효능 평가

- 3차년 연구를 통하여 돼지 분뇨에 대한 친환경 복합미생물제제의 악취 감소 효능을 검증하였고, 이어지는 4차년 연구에서는 국내 대표적 축산업 대상동물인 소와 닭의 분변에 대한 악취 제어 효능을 검증함
- 축산 농가로부터 10회 이상 채취한 소 분변에서는 암모니아가 평균적으로 56.3 ± 6.4 ppm, 아민은 138.1 ± 14.3 ppm 으로 측정되었으며, 황화수소는 미검출 됨
- 분변의 채취 장소(농가별 또는 농가 내 위치) 및 시기(계절별)에 따라 분변에서 발생하는 악취 정도의 차이가 있었으며 이에 퍼센트 농도로 상호 비교함
- 소 분변 200g에 대하여 2%(w/w) 농도로 각 실험군 제제를 1회 처치 한 후 20일동안 암모니아와 아민 농도의 변화를 측정함

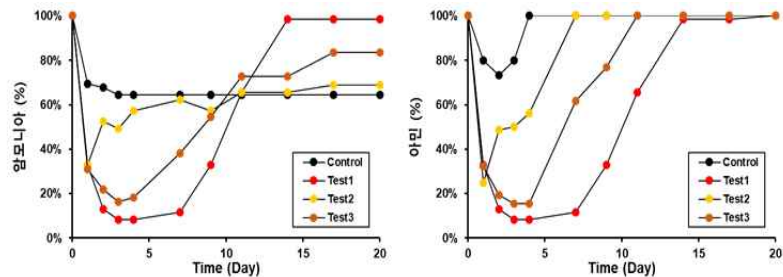


그림 119. 소 분변에서 발생하는 악취 제어 효능 검증

- 그림 119에서 Control은 제제가 미처리된 순수한 분변에 대한 악취성분 변화값이며, Test1은 3종 미생물, Test2는 해조류분말, Test3은 3종 미생물과 해조류 분말을 함께 처리함
- 관찰 기간동안 소 분변에서는 최대 62ppm에서 최소 40ppm의 암모니아가 검출되었고, 아민은 110~150ppm으로 확인됨
- 소 분변에 대한 복합미생물제제는 미생물 3종을 단독으로 사용하였을 경우, 매우 효과적인 악취 저감능을 보여주었으며, 처리 후 24시간 이내에 암모니아와 아민을 제어하는 것으로 관찰됨
- 또한, 효과는 약 7일간 지속되었으며 이후에는 악취 차단 및 제어의 효능이 저감되는 것으로 확인됨
- 이를 통하여, 소 분변에 대한 효과적인 악취 제어 효능을 도출하기 위하여 일주일 단위의 복합미생물제제 처리가 요구되는 것으로 판단됨
- 소 분변에 대한 해조류 분말의 악취 차단능은 돼지 분뇨에 대한 것보다 상대적으로 낮은 수치로 확인되었으나, 악취 원인 물질(암모니아, 아민) 자체에 대한 제어 효능이 분명

하게 관찰되었음

- 이어서, 복합미생물제제의 액상 및 분상 제형이 갖는 소 분변에 대한 악취 저감능을 검토함
- 3종 미생물의 액상제형과 분말제형을 교차로 사용하였으며, 해조류 성분에 대하여는 미생물을 먼저 처치 후 분변 상단에 도포 하는 형태로 시험하였음
- 분변 자체를 대조군으로 사용하는 한편, 분변 내부로 액상 물질의 침투에 따른 내재된 악취 발생등의 변수를 함께 고려함
- 결과적으로 액상형 보다 분말형태의 복합미생물제제가 소 분변에서 발생하는 악취 제어에 효과적임이 관찰되었으며, 이는 분변 표면 코팅 및 제제의 고착화 등에 의한 효과로 판단됨
- 복합미생물제제 분말제형이 액상제형보다 2배가량 더 효과적인 것으로 판단되며, 암모니아 및 아민의 제어 시간은 7일 전후로 유사한 것으로 평가됨

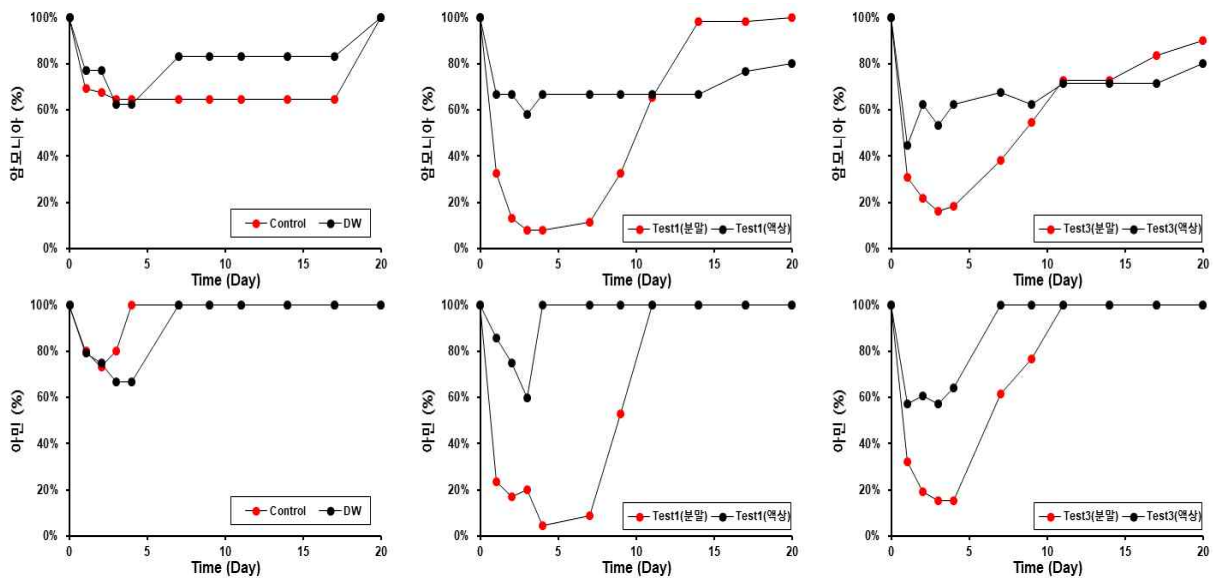


그림 120. 소 분변에 대한 액상 및 분말 복합미생물제제의 악취저감 효능 검증

○ 닭 분변에 대한 복합미생물제제 효능 평가

- 축산 농가로부터 10회 이상 채취한 닭 분변에서는 암모니아가 평균적으로 63.1 ± 36.4 ppm, 아민은 152.0 ± 85.0 ppm 으로 측정되었으며, 황화수소는 미검출 됨
- 오차범위에서 보여지듯, 닭 분변은 분변의 채취 장소(농가별 또는 농가 내 위치) 및 시기(계절별)에 따라 분변에서 발생하는 악취 정도가 매우 크게 발생됨에 따라 이어지는 연구에서는 결과 값을 퍼센트 농도로 상호 비교함
- 닭 분변 500g에 대하여 2%(w/w) 농도로 각 실험군 제제를 1회 처치 한 후 20일 동안 암모니아와 아민 농도의 변화를 측정함

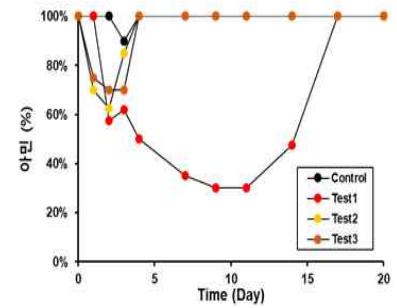
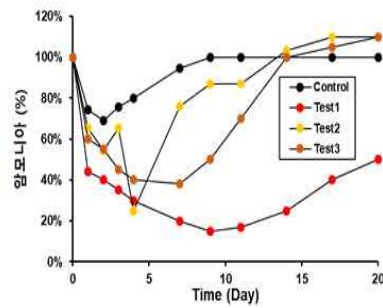


그림 121. 소 분변에서 발생하는 악취 제어 효능 검증

- 그림 121에서 Control은 제제가 미처리된 순수한 분변에 대한 악취성분 변화값이며, Test1은 3종 미생물, Test2는 해조류분말, Test3은 3종 미생물과 해조류 분말을 함께 처리함
- 관찰 기간동안 닭 분변에서는 최대 100ppm에서 최소 62ppm의 암모니아가 검출되었고, 아민은 180~200ppm으로 확인됨
- 닭 분변에 대한 복합미생물제제는 미생물 3종을 단독으로 사용하였을 경우, 신속하며 지속적인 악취제어 효능을 보여줌
- 미생물 3종 단독 처리 후 24시간 이내에 암모니아와 아민을 즉각적으로 제어됨
- 또한, 암모니아에 대하여 약 3주 동안 제어 효능이 유지되었으며, 아민에 대하여 2주간 악취 차단 및 제어의 효능이 저감되는 것으로 확인됨
- 해조류 단독 또는 미생물과 해조류를 함께 처리하였을 경우, 암모니아 발생 제어에 대한 효능은 신속하며 지속적임을 관찰 할 수 있었으나, 아민에 대하여는 일주일 내에 그 효능이 급격히 감소됨을 확인하였음
- 이어서, 복합미생물제제의 액상 및 분상 제형이 갖는 닭 분변에 대한 악취 저감능을 검토함
- 3종 미생물의 액상제형과 분말제형을 교차로 사용하였으며, 해조류 성분에 대하여는 미생물을 먼저 처치 후 분변 상단에 도포 하는 형태로 시험하였음
- 분변 자체를 대조군으로 사용하는 한편, 분변 내부로 액상 물질의 침투에 따른 내재된 악취 발생 등의 변수를 함께 고려함
- 결과적으로 액상제형이 분말제형보다 효능이 저감됨이 관찰되었고, 이는 암모니아에 대한 효과에서 보다 뚜렷하게 나타남
- 특이하게도 액상제형을 사용할 경우, 암모니아 발생율이 보다 상승됨을 보여주었는데 이는 액체 성분이 분변 내 스며들면서 닭 분변 내에 내제된 악취 성분의 활성화를 유도한 것으로 판단됨

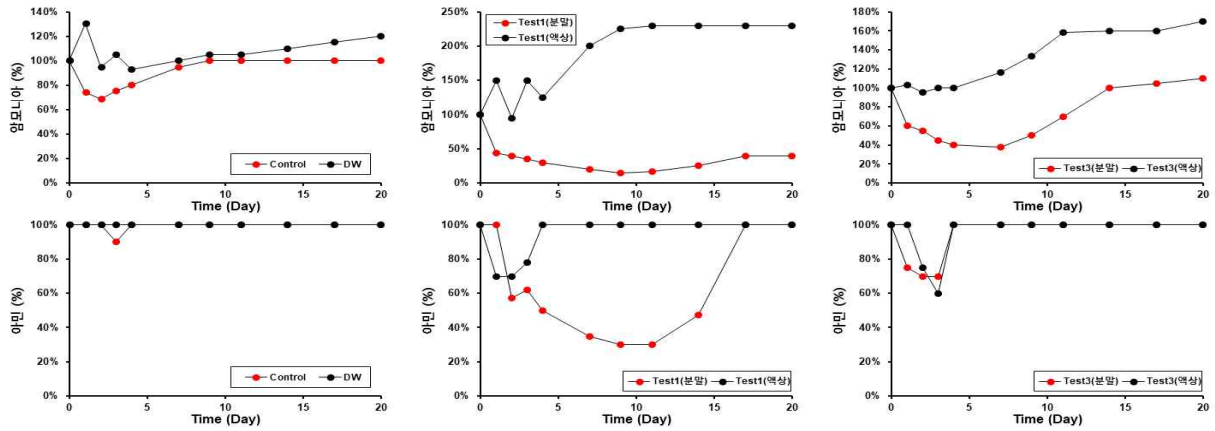


그림 122. 닭 분변에 대한 액상 및 분말 복합미생물제제의 악취저감 효능 검증

○ 복합미생물제제의 액상제형 활용에 대한 검토

- 소와 닭 분변 모두에서 분말제형이 액상제형보다 효과적이며, 미생물제제 단독 사용에서 악취저감 효능이 높은 것으로 관찰됨
- 이에, 해조류 분말 활용법 및 복합미생물제제 메뉴얼 수립 연구의 일환으로 세부 조건 탐색연구를 수행함
- 복합미생물제제에서 해조류 성분은 분뇨 및 분변에 도포되어 악취 물질이 확산되는 것을 신속히 막아주고, 미생물의 활성을 보조함
- 일정 수준의 수분량은 해조류 성분의 활성을 촉진하여 악취 원인 물질 차단에 도움을 줄 수 있지만, 액상미생물제제와 혼용으로 사용시 일정 수준 이상의 수분량이 처치되어 되려 이를 차단 효능을 저해 할 수 있을 것으로 판단되었음
- 미생물제제를 대신하여 멸균수(DW)를 적용하여 해조류 성분 이외의 변수를 제어하여 아래의 연구를 수행함
- 결과적으로 멸균수 또는 멸균수와 해조류를 함께 사용하였을 때 유사한 패턴으로 암모니아와 아민의 농도가 변동되는 것으로 관찰되었으며, 이는 필요 충분 이상의 수분량은 분뇨 및 분변 내의 냄새 물질 활성화를 유도하거나, 해조류의 유효성분에 효능을 저해 할 수 있을 것으로 판단되는 근거를 뒷받침함

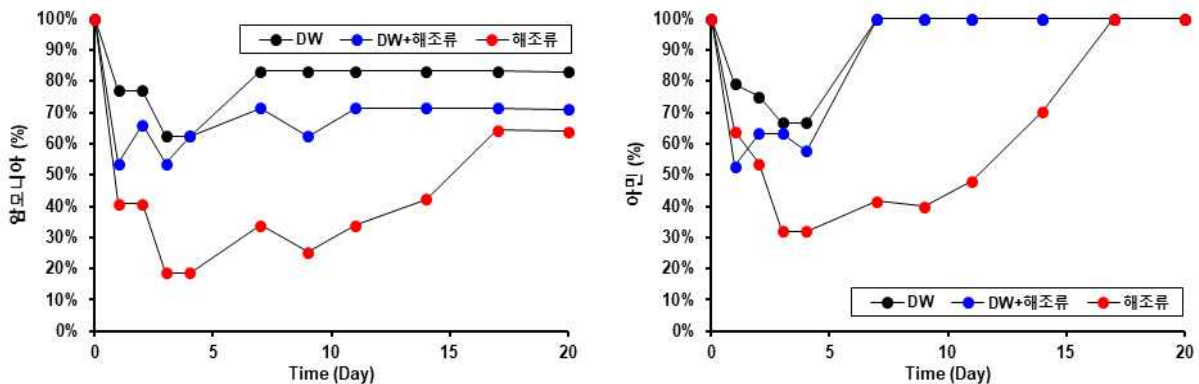


그림 123. 복합미생물제제의 제형 및 활용 조건 탐색

○ 증량제 사용에 대한 복합미생물제제의 약취저감 효능 변화 검토

- 친환경 복합미생물제제를 구성하는 해조류 성분의 경우, 해조류 수거 및 세척, 건조, 분말화 등 일련의 공정과 유통이, 식재료에 초점이 맞춰짐에 따라, 농축산용 제제로 활용하는 것에는 현재까지 구매단가가 높은 단점이 존재함

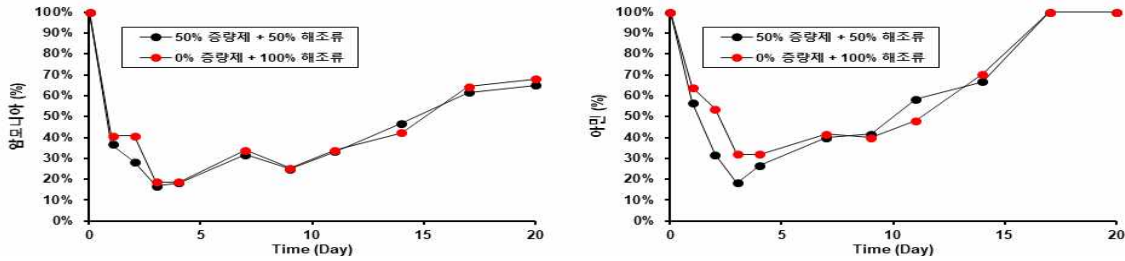


그림 124. 증량제와 해조류 혼합에 따른 소 분변 약취 저감능 검토

- 이에 본 연구팀은 1차년과 2차년 연구를 통하여 폐해조류의 활용에 대한 방법을 고안하였고, 현장에서 폐해조류 수거 및 세척, 건조의 방법을 제안한바 있음
- 복합미생물제제의 경제성 확보를 위하여 해조류 분말 및 복합미생물제제에 대한 증량 가능성을 검토하였고, 미생물제제의 제형 및 증량제 성분으로 많이 활용되는 미강을 이용하여 해조류 분말과 혼합 후 효능을 검증함
- 해조류 분말과 증량제를 1대1로 혼합한 대조군과 순수하게 해조류로만 구성된 대조군을 상호 비교한 결과, 소 분변에 대해서 증량제 혼합 유무와 상관없이 유사한 비율로 암모니아와 아민 저감 효능이 유지됨을 확인함

○ 복합미생물제제 현장 적용 매뉴얼 초안 작성 및 현장 적용

- 전라북도 내에 위치한 돼지 농가를 대상으로 사전 조사를 실시함
- 1,000두 이상의 돼지를 사육하는 농가 중 약취 민원에 대한 경험과 미생물제제에 대한 선호도 등을 고려하여 총 4군데의 농가를 선정함
- 돼지 농가의 자돈사, 모돈사, 비육사, 퇴비사 등 축산 약취 발생 가능성이 높은 장소를 대상으로 암모니아, 아민, 복합약취, 미세먼지 등의 약취 민원 발생 요소들에 대한 조사를 실시함



그림 125. 축산 농가 현장 사전 조사 및 약취 분석

- 4곳의 돼지 농가의 축산 약취 발생지를 대상으로 사전 조사 및 분석을 실시한 결과 아미노산은 19~44ppm, 아민은 76~120ppm, 복합약취는 514~860 등 매우 다양한 약취 성분비를 보여줌

- 급이, 공간 대비 가축의 포화도, 환기 시스템 및 분뇨/분변의 관리, 청결도 등 다양한 요소에 의해 악취 원인 물질의 농도가 매우 달랐으며, 일정한 요소 발굴에는 제약이 있었음
- 산재된 악취 발생 요소, 인위적/비인위적 축사 환경 조성, 기후 등 환경적 요인의 개선에는 장기간의 노력이 요구될 것으로 판단됨

표 60. 전라북도 내 축산 농가의 악취 발생 현황 사전 조사

구분	농가명	사육두수 (두, 돼지)	암모니아 (ppm)	아민 (ppm)	복합악취	PM 2.5 (ug/m ³)	PM 10 (ug/m ³)
정읍시	A 농장	1,468	40	120	860	114	237
부안군	B 농장	2,500	22	76	690	226	459
	C 농장	9,800	19	80	591	127	281
	D 농장	1,300	44	120	514	110	237

- 본 연구팀의 복합미생물제제는 천연소재 및 토착 미생물을 이용하여 개발되었으며, 자연현상의 원리로부터 악취 원인 물질 차단 및 분해의 원리를 담고 있음
- 지난 연구를 통해서 복합미생물제제의 최적화 및 활용법을 실험실 규모에서 도출함
- 보다 자세히, 해조류와 3종 이상의 미생물의 배합 비율, 처치 시기, 기후별/상황별 반복처리 구간을 설정하였고, 이를 현장에 실적용함으로서 현실적인 현장 적용 기술로서의 융화를 도모함
- 이로서 작성된 현장 적용 매뉴얼은 향후 추가되는 현장성 평가를 통해 보다 정확하고 규격화된 사용값을 확보할 계획이며, 이어지는 연구에서 S-masking 시스템에 세밀히 적용할 예정임.

○ 복합미생물제제 적용에 따른 돈사 내·외부 악취 모니터링 결과

- 전체 농가의 악취 모니터링을 실시한 결과 돈사 내부 암모니아는 28.75ppm에서 제제 적용 후 12.56ppm 으로 56.32% 저감되었으며, 아민은 78.08ppm에서 47.28ppm으로 39.44% 저감됨
- 센서식 복합악취는 566.78OL에서 470.66OL로 16.96% 감소 되었고, 미세먼지 OM10은 182.59에서 89.43으로 51.02% 저감됨
- 돈사 외부에서는 암모니아가 46.43%, 아민이 47.89%, 복합악취 20.46%, 미세먼지 0.73%, 그리고 초미세먼지 1.46%가 저감된 결과를 확보함

표 61. 돈사 내·외부 악취모니터링 결과

구분		적용전	적용후	저감율(%)
내부	암모니아 (ppm)	28.75	12.56	56.31%
	아민 (ppm)	78.08	47.28	39.45%
	센서식 복합악취 (OL)	566.78	470.66	16.96%
	미세먼지 PM10 (ug/m ³)	182.59	89.43	51.02%
	초미세먼지 PM2.5 (ug/m ³)	88.71	46.06	48.08%
외부	암모니아 (ppm)	4.21	2.26	46.32%
	아민 (ppm)	18.87	9.83	47.91%
	센서식 복합악취 (OL)	342.93	272.76	20.46%
	미세먼지 PM10 (ug/m ³)	73.09	72.56	0.73%
	초미세먼지 PM2.5 (ug/m ³)	36.89	36.36	1.44%

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 축산악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 최적 배합조건 확립
 - 악취 제어 및 저감 효능을 지닌 미생물 4종의 효능평가 완료
 - 친환경/천연물 소재의 악취저감제제 개발
 - 악취물질 제어용 복합미생물제제 생산 최적화
 - 복합미생물제제 대량생산 공정 확립(연간 100톤 규모 생산 가능)
- 축산 농가 내·외부의 악취 원인 물질 분석
 - 축산 농가 발생 악취물질 발생현황 모니터링 실시
 - 축산 농가/축종 맞춤 보급형 모니터링 시스템 개발 완료
 - 축산 악취 실시간 모니터링 및 데이터베이스 구축 완료
 - 축종별 악취저감 복합미생물제제 최적화 연구 수행
- 맞춤형 악취물질 제어/저감 및 확산 방지 시스템(S-making) 개발
 - s-masking 시스템 설계 및 시제품 제작 완료
 - 축종별 악취 제어/저감용 복합미생물제제의 최적 효능 도출
 - 폐해조류를 이용한 복합미생물제제 개발 및 효능검증
- 축산 농가 S-masking 시스템 현장 실증 및 악취 확산 모니터링
 - 축산 농가 밀집 지역 내 악취 민원 발생 모니터링 및 악취저감 기술 적용 효과 분석
- 축산 악취제어용 복합미생물제제 활용 매뉴얼 개발 및 보급
 - 축종별 복합미생물제제 및 시스템 활용 방법 매뉴얼 개발
 - 농가 현장적용 및 악취 민원 발생 현황 정밀 분석 완료

(2) 정량적 연구개발성과

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2018~2021)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	논문 (SCI)	목표(단계별)	4	4	10
		실적(누적)	4	4	
	특허출원	목표(단계별)	4	4	10
		실적(누적)	4	4	
	특허등록	목표(단계별)	2	2	10
		실적(누적)	2	2	
학술발표	목표(단계별)	6	6	5	
	실적(누적)	9	9		
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술실시 (이전)	목표(단계별)	1	1	15
		실적(누적)	2	2	
	기술료	목표(단계별)	50 백만원	50 백만원	15
		실적(누적)	40 백만원	40 백만원	
	제품화	목표(단계별)	1	1	10
		실적(누적)	2	2	
	매출액	목표(단계별)			64 백만원
		실적(누적)	64 백만원	64 백만원	
	고용창출	목표(단계별)	2	2	10
		실적(누적)	13	13	
	교육지도	목표(단계별)	10	10	5
		실적(누적)	12	12	
	인력양성	목표(단계별)	2	2	5
		실적(누적)	3	3	
홍보(전시)	목표(단계별)	4	4	10	
	실적(누적)	9	9		
계					100

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	A novel strategy for gas mitigation during swine manure odour treatment using seaweed and a microbial consortium	Frontiers of environmental science & engineering	Madhavaraj Lavanya	14(3):53	china	Springer	SCI	'20.03.25	2095-2201	50
2	Influence of <i>Sargassum horneri</i> Mitigating Odorous Gas Emissions from Swine Manure Storage Facilities	Sustainability	Madhavaraj Lavanya	12,7587	Canada	MDPI	SCI	'20.09.15	2071-1050	
3	Fungi Associated with Postharvest Diseases of Sweet Potato Storage Roots and In Vitro Antagonistic Assay of <i>Trichoderma harzianum</i> against the Diseases	Journal of Fungi	Narayan Chandra Paul	7,927	스위스	MDPI	SCIE	21.10.31	2309-608X	20
4	Methanol dehydrogenases as a key biocatalysts for synthetic methylotrophy	Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	Thien-Kim Le		스위스	frontiers	SCI	21.12.24	2296-4185	20

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국생물공학회	김공민	'18.10.12.	서울(세종대학교)	대한민국
2	The 14 th Asian congress on Biotechnology	김공민	'19.07.03.	Fullon Hotel, Taipei	대만
3	The 14 th Asian congress on Biotechnology	Lavanya Madhavaraj	'19.07.03.	Fullon Hotel, Taipei	대만
4	2019 40 th Food Processing and Preservation Technologis for Safe and Healthy Food	한귀환	'19.08.21.	알펜시아리조트 컨벤션센터, 평창	대한민국
5	The 2019 KSPP Fall International Conference & Symposium for Smart Crop Protection	임호동	'19.10.16.	중흥골드스파&리조트, 나주	대한민국
6	2020 KSBB Spring Meeting and International symposium: e-Conference	Madhavaraj Lavanya	'20.06.25.	e-conference	대한민국
7	KMB2020 The Korean Society for Microbiology and Biotechnology	Madhavaraj Lavanya	'20.09.23.	e-conference	대한민국
8	The Korean Society for Microbiology and Biotechnology	박준경 외 5명	'21.06.23.	대한민국, 부산	대한민국
9	2021 KSBB Fall Meeting and International Symposium	임호동 외 5명	'21.10.07.	대한민국, 경주	대한민국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	발아 및 분화 유도를 위한 생물 배양기	대한민국	(재)농축산 용미생물 산업육성 지원센터	'18.05.3 0.	10-2018 -006157 0		박진열	'20.06.0 5.	10-2122 052		3/4
2	방취제 조성물	대한민국	(재)농축산 용미생물 산업육성 지원센터	'18.11.1 2.	10-2018 -01-384 39						1/2
3	방취제 조성물	대한민국	(재)농축산 용미생물 산업육성 지원센터	'19.08.2 6.	10-2019 -010471 0		한귀환	'20.01.2 3.	10-2071 928	50	1/2
4	바실러스균, 유산균, 효모의 혼합 배양을 위한 배지 및 그를 활용한 악취 제거용 미생물 제제	대한민국	(재)농축산 용미생물 산업육성 지원센터	'21.07.2 9.	10-2021 -010022 0					50	

[경제적 성과]

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	노하우	광합성세균 <i>Rhodobacter sphaeroides</i> 대량생산기술	피에스비바이오(주)	'19.04.24.	10,000,000원	10,000,000원
2	특허출원	해조부산물을 활용한 악취저감제	(주)와이앤바이오	'19.10.30.	20,000,000원	30,000,000원

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)				합계
			2018년	2019년	2020년	2021년	
1	농축산용 전문인력 고용	재단법인 농축산용미생물 산업육성지원센터	9	1		3	13
합계			9	1		3	

[사회적 성과]

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	미생물배 양전문인 력양성	2019				1	1						1	
2	대학원생	2020	1	1				2					2	

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	Internet/PC통신	한국농어민신문	"에코 축산 청정 정읍 만들자"	'18.05.11
2	Internet/PC통신	시사종합신문	정읍시 첨단산업단지 피에스비바이오(주), 중국 수출계약 체결	'21.07.22
3	Internet/PC통신	쿠키뉴스	정읍첨단산업단지 피에스비바이오(주), 중국 수출계약 해외진출	'21.07.22
4	Internet/PC통신	네이트뉴스	정읍 피에스비바이오, 중국에 37만달러 수출계약 체결	'21.07.22
5	Internet/PC통신	천지일보	정읍 피에스비바이오(주) '탈모 기능성 샴푸' 중국 수출	'21.07.22
6	Internet/PC통신	전북도민일보	정읍 첨단산업 입주기업 피에스비바이오(주), 중국에 수출 계약 체결	'21.07.22
7	Internet/PC통신	전민일보	정읍 첨단산업 소재 피에스비바이오(주) '중국시장' 진출	'21.07.23
8	Internet/PC통신7	코스인코리아닷컴	정읍 피에스비바이오, '탈모 기능성 샴푸' 중국 첫 수출	'21.07.23

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

당초 연구계획서 성과목표 외 매출액 64,000천원 달성하였으며, 당초 대비 기술이전 1건 추가 달성, 제품화 1건 추가달성, , 고용창출 13명, 해외수출 1건 등 정량성과를 초과 달성 하였음,

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 축산 농가에서 발생하는 악취 물질을 효과적으로 제어/저감시킬 수 있는 복합미생물제제 개발	○ 복합미생물제제의 대량생산을 위한 배양·생산 공정 확립을 통한 다양한 종류의 복합미생물 제품 대량생산 확대	○100(%)
○ 광역 지역내 악취발생 농가의 악취 발생 제어/저감 기술 보급 및 현장실증	○ 친환경 악취 제어/확산 방지 기술 및 악취 모니터링 센서 등 자동화 기술을 통한 S-masking 시스템은 냄새 발생에 관련한 다양한 분야에 적용 가능한 원천기술 개발	○100(%)
○ 축산 악취 발생 대응 및 복합미생물제제 활용방법 매뉴얼 개발 및 현장 보급	○ 다양한 축산 환경에 근거한 맞춤형 복합/유용 미생물 활용 시스템 구축으로 현실적/실용적 축산 악취 문제 해결	○100(%)

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- S-masking은 신속하게 악취 확산을 방지하며 지속적으로 냄새 물질 발생을 억제할 수 있는 기술이며 축사를 비롯하여, 음식물처리장, 쓰레기매립장 등 불쾌한 냄새가 발생하는 사회적 필수 불가결한 장소에 활용
- 악취저감 기능성 미생물 및 해조류 조성물에 대한 지적소유권 확보, 기술이전 및 향후 제품등록을 통한 매출 증대로 관련 분야 산업체의 매출 증대에 기여할 것
- 국내 연안 및 제주도에서 매년 대량 발생되고 있는 갈파래와 갯생이모자반 등 폐해조류를 악취 흡착 소재로 활용
- 폐기물의 재활용적인 측면에서 매우 우수할 뿐만 아니라, 폐해조류 처리 감소, 악취처리제 사용량 감소 등에 따른 탄소저감 효과됨
- 대량배양 및 제형화 기술 개발을 통한 유용미생물제제의 실용화 시스템 개발

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
사업화	상품출시	1
	기술이전	
	공정개발	
제품개발	시제품개발	

7. 참고 문헌

- 한국환경공단(2016), 축산악취 민원발생 현황
- 대한한돈협회(2015), 『양돈장 악취저가감 제품 및 시설 검증 결과 보고서』
- 이상석(2015), 『악취저감용 물질과 제제의 사용효과 검증 및 현장적용 매뉴얼화』
- 국립축산과학원(2015), 『돈사 악취저감 모델 개발 연구』
- 정읍신문(2017), 「지금 정읍에선-축산 악취 논쟁 후끈」, 정읍신문
- 임장훈(2017), 「정읍시민 축산악취로 고통... '전국 제2축산도시' 무색」, 전북일보
- 대한한돈협회(2015), 『양돈장 악취저가감 제품 및 시설 검증 결과 보고서』
- 산업통상자원부, 한국바이오협회(2015), 『2013년 기준 국내 바이오산업 실태조사 결과보고서』
- 국립농업과학원(2012), 『농업용 미생물의 현장적용기술 개발에 관한 연구』
- 신민재(2017), 인천 앞바다 해조류 수거작업」, 인천-연합뉴스
- 남도영(2018), 「해안가 골칫거리 '거대 해조류' 대응 위해 출연연·지역사회 힘 합친다」, 디지털타임스
- 한국바이오협회(2012), 『2010년 기준 국내 바이오산업 실태조사 요약보고서』
- 임채규(2014), 「동물용의약품 시장 '국산 줄고 수입 증가」, 약업신문
- 농촌진흥청 축산과학원(2008), 『눈에 보이는 축산 유용미생물 활용법』
- 박진우(2011) 「작지만 아름다운 미래의 보물, 미생물」, 농업인신문
- 박진성(2010) 『축산농가의 미생물제제 이용실태에 관한 연구』, 울산대학교
- 장해동 외(2008), 『Bacillus subtilis 급여가 비육돈의 육질특성, 생산성 및 유해가스 발생에 미치는 영향』. 한국축산식품학회지
- 김정규(2002), 악취발생원의 효율적 관리를 위한 제도 개선방안연구
- 송지현(2007), 『악취저감을 위한 바이오필터 기술의 적용』, 한국냄새환경학회지
- Dermot J Hayes and Helen H. Jensen (2003), 「Lessons from the Danish Ban on Feed-Grade Antibiotics」
- Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., Kim, Y. S., Roh, Y. M., Lee, C. M., Kim, H. S., Kim, C. N.(2007) Sulfuric odorous compounds emitted from pig-feeding operations, Atmospheric Environ
- Zhu, J.(2000), A Review of microbiology in swine manure odor control. Agric, Ecosystems & Environment.
- Jeong, C. H., M. J. Park, and D. W. Jeong (2019), Reduction of odor from swine manure using soil micro organisms on liquid manure circulation system. Journal of Water Treatment
- Han, J. S., and S. J. Park (2012), A study of the correlation between odor intensity and the concentration of sulfur compounds, NH₃, and TMA. Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering
- Xu, W., K. Zheng, X. Liu, L. Meng, R. M. Huaitalla, J. Shen, E. Hartung, E. Gallmann, M. Roelcke, and F. Zhang (2014) Atmospheric NH₃ dynamics at a typical pig farm in China and their implications, Atmospheric Pollution Research 5
- McCrary, D. F., and P. J. Hobbs (2001), Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes, Journal of environmental quality

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서 2) 연구성과 활용계획서
2.	1) 복합미생물제제 보급 매뉴얼 2) S-masking system 보급 매뉴얼

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	318012-4		
사업구분	유용농생명자원산업화기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	유용농생명자원산업화기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	축산 환경 개선을 위한 유용제제(복합미생물) 개발 및 실증 연구			과제유형	(기초,응용,개발)
연구개발기관	(재)농축산용미생물산업육성지원센터			연구책임자	한 귀 환
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	'18.04.26.~12.31.	150,000	50,000	200,000
	2차년도	'19.04.26.~12.31.	200,000	66,700	266,700
	3차년도	'20.04.26.~12.31.	200,000	66,700	266,700
	4차년도	'21.04.26.~12.31.	200,000	66,700	266,700
	계		750,000	250,100	1,000,100
참여기업					
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2022. 1. 22.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(재)농축산용미생물산업육성지원센터	팀장	한귀환

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	한 귀 환
----	-------

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- S-masking system은 악취 제어 소재(미생물), 악취제어 유틸리티(자동분사 기계등)으로 구성된 스마트시스템이며, 이는 연구팀 고유의 기술로서 미생물소재의 악취제어, 악취 감지 센서 및 악취제어 기능이 매우 우수함.
- 2종 이상의 복합 미생물과 해조류 분말의 흡착 능력을 활용하여 분뇨에서 발생하는 악취 물질의 분해 및 확산 억제를 동시에 구현함으로써, 축산업의 오랜 문제점으로 제기되고 있는 축산악취를 효과적 조절하는 기술임
- 개발한 연구성과의 기술이전으로 관련 분야 기업체의 매출 증대에도 기여할 것으로 판단됨

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- S-masking은 신속하게 악취 확산을 방지하며 지속적으로 냄새 물질 발생을 억제할 수 있는 기술이며 축사를 비롯하여, 음식물처리장, 쓰레기매립장 등 불쾌한 냄새가 발생하는 사회적 필수 불가결한 장소에 활용 가치가 매우 높음
- 악취저감 기능성 미생물 및 해조류 조성물에 대한 지적소유권 확보, 기술이전 및 향후 제품등록을 통한 매출 증대로 관련 분야 산업체의 매출 증대에 기여할 것으로 예상됨
- 국내 연안 및 제주도에서 매년 대량 발생되고 있는 갈파래와 갯생이모자반 등 폐해조류를 악취 흡착 소재로 활용하고 있으며, 이는 폐기물의 재활용적인 측면에서 매우 우수할 뿐만 아니라, 폐해조류 처리 감소, 악취처리제 사용량 감소 등에 따른 탄소저감 효과도 매우 높은 수준일 것으로 판단됨
- 이와 더불어, 매해 발생되어 어패류 양식에 방해가 되고, 해상 경관을 해치는 갈파래와 갯생이모자반과 같은 폐 해조류의 활용 방안을 제시함

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 기능성 소재 및 생산공정, 스마트 제어시스템에 대한 학술적 가치를 통한 교육 활용자료, 지식재산권 획득 및 기술이전을 통한 제품등록으로 산업체의 매출 증대에 기여, 악취문제 해결을 통한 축산농가의 냄새 민원 감소 기여함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 축산악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 악취 물질 제어/저감성능 개선, 미생물 기반 축산 농가 내·외부 발생 악취 물질 분석, 맞춤형 악취물질/제어 및 확산 방지 시스템 (S-Masking) 개발, 축산 농가 S-masking 시스템 현장 실증 및 악취 확산 모니터링, 축산 악취제어용 복합미생물제제 활용 매뉴얼 개발 및 보급, 대량배양 최적화 및 시제품 제작 등 본 연구의 당초 계획대로 성실히 수행하였음
- 본 연구의 계획서에 제시한 정성·정량적 성과목표를 달성을 위해 성실히 수행하였음. 또한, 당초 연구계획서 성과목표 대비, 기술이전 1건 추가 달성, 제품화 1건 추가달성, 매출액 5배이상 달성, 고용창출 13명, 해외수출 1건 등 대부분의 정량성과를 초과 달성 하였음,
- 단, 기술료의 경우 코로나 등 사회적 상황과, 경기 침체 등의 영향으로 당초 목표인 5,000만원 중 4,000만원의 기술료 성과를 달성하였음

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

- 본 연구를 통해 특허출원 4건, 등록 2건, 논문 게재 4건, 기술이전 2건(정액기술료 40,000천원) 등 우수한 성과를 도출함.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
축산악취 제어용 복합미생물제제 개발 및 악취 물질 제어/저감성능 개선	20	100	복합미생물제제를 활용한 악취저감 개선을 효과를 확인함
미생물 기반 축산 농가 내·외부 발생 악취 물질 분석	20	100	공인기관 의뢰를 통한 농가 내·외부 악취 물질 분석
맞춤형 악취물질/제어 및 확산 방지 시스템(S-Masking) 개발	20	100	악취 물질 발생에 따른 자동분사 시스템 개발
축산 농가 S-masking 시스템 현장 실증 및 악취 확산 모니터링	20	100	축산 현장(온도, 풍향등)에 따른 악취 확산 모니터링 실시
축산 악취제어용 복합미생물제제 활용 매뉴얼 개발 및 보급	20	100	미생물제제 농도에 따른 악취저감 테스트를 통한 매뉴얼 확보
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구는 악취 물질 제어 기능을 가지는 미생물 소재 및 천연소재를 활용하고, 악취 감지 센터, 자동 악취제어 시스템은 개발하였으며, 이를 S-masking system으로 명명하였음.
- S-masking system은 연구팀 고유의 기술로서 미생물소재의 악취제어, 악취 감지 센서 및 악취제어 기능이 우수한 연구개발 성과를 확보함.
- 악취저감 기능성 미생물 및 해조류 조성물에 대한 지적소유권 확보, 기술이전 및 향후 제품등록을 통한 매출 증대로 관련 분야 산업체의 매출 증대에 기여할 것으로 예상됨

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- S-masking은 신속하게 악취 확산을 방지하며 지속적으로 냄새 물질 발생을 억제할 수 있는 기술이며 축사를 비롯하여, **음식물처리장, 쓰레기매립장 등 불쾌한 냄새가 발생하는 사회적 필수 불가결한 장소에 활용**

IV. 보안성 검토 - 해당사항 없음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야		
연구과제명	축산 환경 개선을 위한 유용제제(복합미생물) 개발 및 실증 연구			
주관연구개발기관	(재)농축산용미생물산업육성지원센터	주관연구책임자	한 귀 환	
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	750,000	250,100		1,000,100
연구개발기간	2018. 04. 26.~2021.12. 31.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 축산 농가에서 발생하는 악취물질을 효과적으로 제어/저감시킬 수 있는 복합미생물제제 친환경, 천연물제제 개발	폐해조류를 활용한 천연물 제제 개발 및 복합미생물 배양을 통한 미생물제제 생산공정 개발 확립
② 광역 지역 내 악취발생 농가의 악취 발생 제어/저감 기술 보급 및 현장실증	농가 현장에 적합한 맞춤형 분사 시스템 개발함
③ 축산 악취 발생 대응 및 복합미생물제제 활용방법 매뉴얼 개발 및 현장 보급	악취저감제 농도별 악취저감 효능을 증명하고 이에 따른 사용매뉴얼을 개발 함

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표										
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용예외)		
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문	S C I	비 S C I			논 문 평 균 I F	학 술 발 표		정 책 활 용	홍 보 전 시
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	명	건	건				
가중치	10	10			15	15	10		10				10	5	5	5		5				

최종 목표	3	2			1	50	1			2			4		6	10	1		5	
당해 년도	목표	1	1			1	50	1	10	1			2		2	2	5	1		1
	실적	1	1			1	20			3			2		7	2				7
달성률 (%)	100	100			100	40				100			100		100	100				100

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	방취제 조성물 (특허10-2071928)

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술							v			v

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	<ul style="list-style-type: none"> - S-masking은 신속하게 악취 확산을 방지하며 지속적으로 냄새 물질 발생을 억제할 수 있는 기술이며 축사를 비롯하여, 음식물처리장, 쓰레기매립장 등 불쾌한 냄새가 발생하는 사회적 필수 불가결한 장소에 활용 가치가 매우 높음 - 해조류 대량발생 피해 지역 (전남, 제주)은 갈파래와 갯생이모자반 제거를 위하여 많은 예산을 소요되고 있음. 본 연구 결과를 활용하여 폐해조류의 재활용을 통해 악취 문제를 감소/해결함으로써, 경제적·사회적 효과를 확보할 수 있을 것으로 기대됨 - 또한, 화학제품 사용절감, 폐해조류 처리 간소화 등 탄소저감 효과도 기대됨

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출		투자유치	논문 SCI	비SCI			논문평균IF	학술발표	
단위	건	건	건	평균	건	백만	건	백만	백만	명	백만	건	건	건	건	명	건	건	

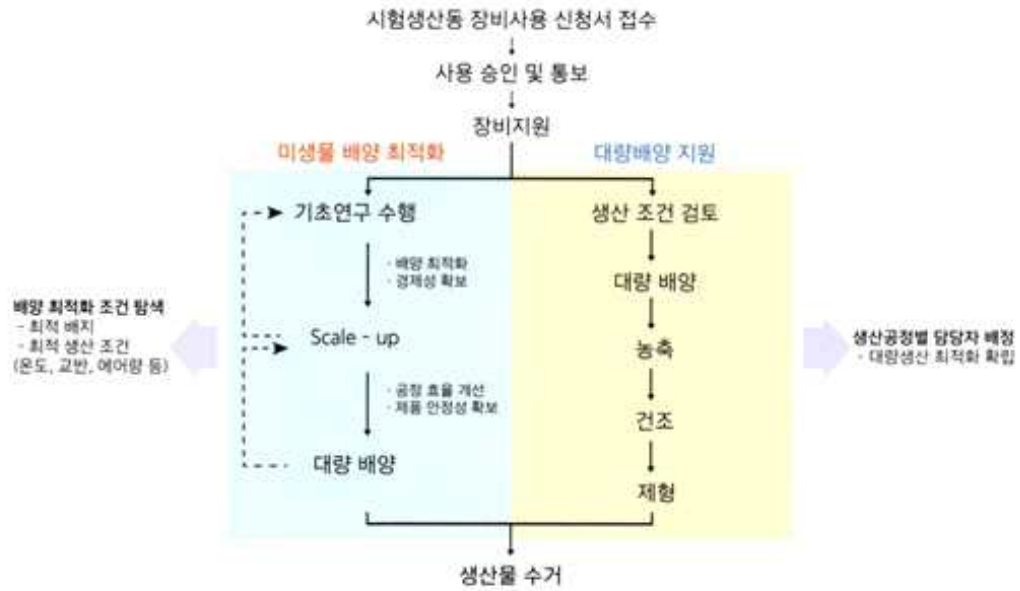
미생물 대량배양 요령

“ (재)농축산용
미생물산업육성지원센터는
국내 미생물 산업의 허브가 되어
미래 농업생명산업을 이끌어 가겠습니다. ”

CIAUMI (재) 농축산용 미생물산업육성지원센터
Center for Incubation of Agriculture and Livestock Microorganisms



시험생산동 시설 운영 체계



시험생산동 장비 현황



	장비명
배양	100L, 1.5ton(2대), 10ton, 10ton 저장조
농축	Tubular 원심분리기(4대), Disk 원심분리기, 추출농축기
건조	동결건조기(300kg), 분무건조기(50kg)
제형	분쇄기, 과립기, 더블혼합기, 혼합기, 오실레타, 제분기, 당의기, 펠렛기, 열풍건조기, 원격외선 건조기, 진동체 여과기, 자동계량 충전기

- 약 900㎡ 면적의 Pilot Plant동
- 농축산 미생물제품의 산업화를 위한 시설장비 구축

시설 담당자

063-536-6713
063-536-6723
063-536-6785



발효공정 단계



종균의 준비

▣ 종균 배양시 사용 배지

균주명	고초균	유산균	효모	광합성세균
배지	LB broth	MRS broth	YPD broth	LB or R2A broth

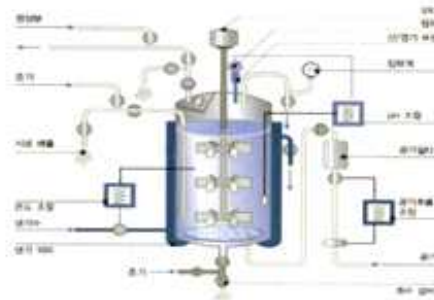


고초균, 유산균	예) 접종시간 : 10월 08일 오후 06시 접종	예) 접종시간 : 10월 9일 오전 09시 접종	예) 접종시간 : 10월 09일 오후 06시 접종
효모, 광합성세균	예) 접종시간 : 10월 08일 오후 06시 접종	예) 접종시간 : 10월 10일 오후 06시 접종	예) 접종시간 : 10월 12일 오후 06시 접종

발효조 살균 및 멸균

▶ 발효조 멸균/살균

- 발효조에 pH센서 및 DO센서 부착 (항후 배양 모니터링하기 위함)
- 발효조 멸균/살균은 각각 시스템을 활용하여 멸균 진행



발효조의 구조

- 배양 모니터링 시 필요부품

구분	p.H	D.O
내용	· 미생물 종류별 성장하면서 pH변화가 다름 · pH 변화를 보고 배양 종료 시간을 가능할 수 있음	· 호기성 세균의 경우 산소가 필요함 · 미생물 배양시(호기성 세균) 산소량을 측정하여 상황에 따라 필요 산소량을 조절할 수 있음
필요 장비	pH sensor 	DO sensor 

▶ 배양 조건(1ton)

	고초균	유산균	효모	광합성세균
온도	30℃	35℃	30℃	30℃
교반속도	100~150rpm	60~90rpm	100~150rpm	100~150rpm
에어량	0.3~0.5vvm	0.03~0.06vvm	0.3~0.5vvm	0.3~0.5vvm

※본 조건은 (재)농축산용미생물산업육성지원센터에서 진행하는 조건이며, 기관에 따라 다를수 있음

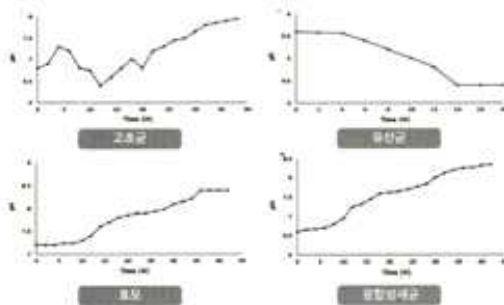
★에어량 계산 산정 기준

유용미생물 배양시(호기성균) AIR량은 대략 0.3 ~ 0.5 vvm (aeration volume/medium volume/minute)정도

- 계산법(1,000L 배양시 0.3 vvm의 조건 예)

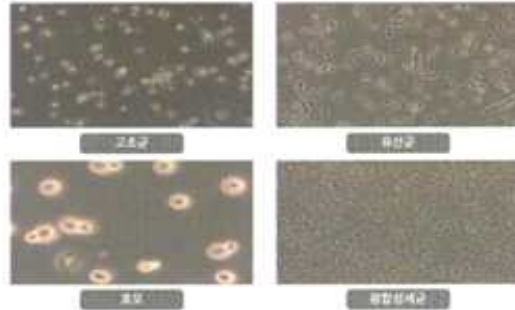
- 1,000L X 0.3 vvm = 300L/min

배양 모니터링



* pH 변화는 배양 조건별, 균주에 따라 다를수 있음

* 예시) 1.5ton 배양기 모니터링 (배양시 pH 변화)



* 고초균 사진의 경우 포자(spore)형성된 사진

* 예시) 1.5ton 배양기 모니터링(현미경 사진)

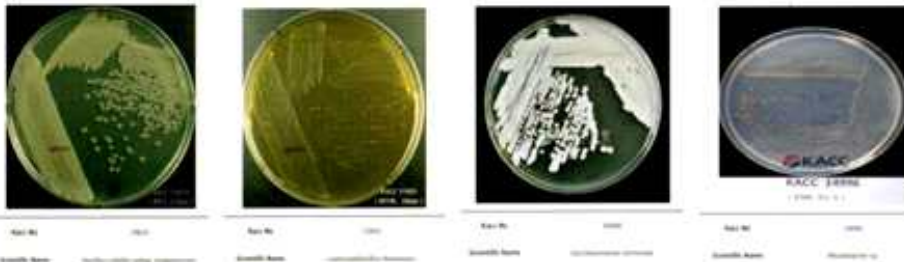
배양시 주의 사항 및 오염도 측정

▶ 종균 접종전 오염도 테스트



- 배지 멸균 후 멸균액을 sampling하여 streaking 진행 (LB Plate진행)
- 30°C incubator에서 1day 보관 후 관찰 (Plate에서 균주 미발생시 문제없음)

▶ 배양 중 오염도 테스트



- 배양액을 sampling하여 streaking 진행(각 균주의 특성에 맞는 배지 선택)
- 30°C incubator에서 1day 보관 후 관찰(Plate에서 2개 이상 다른균이 나타나면 오염)

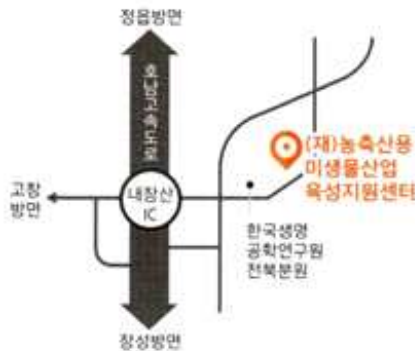


발효조 주의사항

- 발효조에서 근무자는 상시 화상에 주의
- 발효조 가동전 항상 보일러 및 컴프레서 확인
- 밸브 미작동시 컴프레서 확인
- 밸브에서 스팀이 누수시 보일러 가동 중지 후 스팀관에 스팀 제거 후 작업진행
- 에어필터는 1년에 1번이상 교체(단 갈색현상 발생시 즉각 교체)
- 발효조 내부 상태가 깨끗해야 오염을 최소화할 수 있음
- 발효조 문제시 해당 업체에 연락하여 서비스 조치



찾아오시는 길



자가용 |
내장산IC에서 자가용으로
5분거리

대중교통 |
정읍역(KTX) 및 정읍시외버스터미널에서
택시로 20분 거리

Cialm
(재) 농축산용 미생물산업육성지원센터
Center for Industrialization of Agricultural and Livestock Microorganisms

전북 정읍시 첨단과학로 241 (신정동 852-1)
T. 063-536-6001 F. 063-536-6003
www.cialm.or.kr

NH3OCS 사용 설명서 (NH3 Odor Control System)

Version 1.0

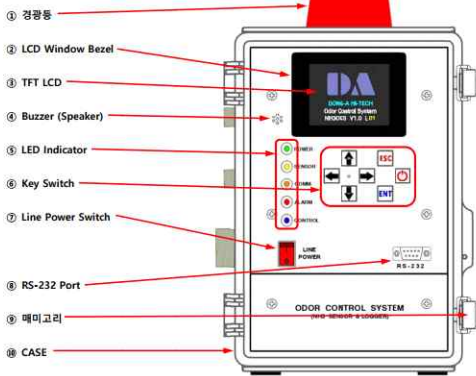


- Accuracy : 온도 ±0.5°C , 습도 ±2 %RH @25°C
- Resolution : 온도 0.1°C , 습도 0.1 %RH
- Drift : 온도 ±0.3°C/year , 습도 <0.5 %RH/year
- Response Time : 온도 <10 second , 습도 <5 second , ※ 1/(e(63%))

- ③ Ventilation FAN
- Outlet ventilation FAN with air filter, Inlet air filter only
 - DC12V/0.1A, 6600rpm, 5.8CFM, 3.66mmAq, 28.3 dBA

2. 외형 각부 설명

2-1. 전면



<Fig 2-1> Front View

- ① 경광등
- NH3 농도가 Alarm Level-4 이상일 때 점멸 동작합니다.
 - Alarm 동작 시 Control I/F 로 신호를 출력하여 외부 분사장치를 작동시킵니다.
- ② LCD Window Bezel
- TFT LCD 보호용 Bezel
- ③ TFT LCD
- Color Graphic TFT LCD
 - 해상도 320 X 240, 65536 Color, LED Backlight
- ④ Buzzer (Speaker)
- 키 조작 또는 상태에 따른 신호음을 출력합니다.
- ⑤ LED Indicator
- 현재 동작 상태를 색상으로 구분하여 표시합니다.

1. 시스템 사양

1-1. Main Controller

- ① CPU
- STMicroelectronics ARM Cortex-M3 STM32F103VCT6
 - 72MHz@3.3V, ROM 256KB, RAM 24KB, ADC 12bit X 3, RTC, USART X 3, Etc.
- ② Power
- Soft power ON/OFF and battery operating (Battery 3.5~4.2V)
 - Battery : Lithium-Polymer 3.7V/5000mAh (4.2V/5000mAhmax , 10000mAh Option)
 - Line Power : SMPS 90~264VAC/0.25A, 50/60Hz → DC12V/1.6A (Battery charging & power supply)
 - Solar Power : 18V/0.6A, 10W (Battery charging & power supply)
- ③ Backup
- Internal backup domain and calendar : System backup and drive clock/calendar
- ④ Data Logger
- Serial Flash Memory 256KB (1Mbit)
 - Maximum 16384 log packet data
 - 10 years data retention
- ⑤ Communication
- RS-232 : 115200bps, no-parity, 8-bit, 1 stop bit, full-duplex, download Logging data
 - RS-485 (RS-422) : 9600bps, no-parity, 8-bit, 1 stop bit, half(full)-duplex, remote control (Option)
 - LoRa : 2400bps, no-parity, 8-bit, 1 stop bit, CRC, half-duplex, 10Km, 447MHz RF network control (Option)
- ⑥ External Interface (Control I/F Connector)
- 접점 출력 : 기본 접점 1 (분사장치 작동명령) + 보조 접점 1 : (점점용량 250V/1A)
 - 접점 입력 : 기본 입력 1 (분사장치 작동명령) + 보조 입력 1 : (점점저항 100Ω이하)
 - RS-422 : 9600bps, no-parity, 8-bit, 1 stop bit, full-duplex, 1.5Km (Option)
 - RS-485 : 9600bps, no-parity, 8-bit, 1 stop bit, half-duplex, 1.5Km (Option)
- ⑦ Display
- TFT LCD : 3.5" TFT LCD, LED Backlight, 320 X RGB X 240 pixel, 65536 Color, HY-32D
 - LED Indicator : φ5.0mm 5 Color, Status LED
(Power-Green, Sensor-Yellow, Communication-Orange, Alarm-Red, Control-Blue)
 - Alarm Lamp : Red color LED Blinking Flash Lamp (Alarm Level-4 부터 표시)
- ⑧ Etc.
- Buzzer : 조작 신호음 Speaker ,8C/1W, φ18mm, 1100 Hz±20% at 1.0v, 97±3 dB/1.0W-0.1M.)
 - LoRa RF network 사용 시 외부 Antenna 장착 (LoRa : Long Range , Option)

1-2. Sensor Module

- ① NH3 암모니아 센서
- Ammonia (NH3) electrochemical sensor - WINSEN
 - Measuring Range : 0 ~ 100 ppm (200ppm-max)
 - Sensitivity : 0.1±0.05 μA/ppm
 - Resolution : 0.5 ppm
 - Zero Drift : ±3 ~ 10 ppm (-20°C ~ 40°C)
 - Response Time (T90) : ≤ 90 second
 - Anticipated using life : ≤ 2 years (2ppmNH3), 3 years-max
- ② 온도/습도 센서
- Capacitive relative humidity, digital temperature and dew point measurement sensor - AOSONG
 - Measuring Range : 온도 -40 ~ 80°C , 습도 0 ~ 99.9%RH

- POWER : 전원 ON 상태일 때 Green LED 점등
- SENSOR : 암모니아 또는 온도도 측정 중일 때 Yellow LED 점등
- COMM. : COMMunication. 통신으로 데이터를 송수신할 때 Orange LED 점등
- ALARM : Alarm Level-4 이상일 때 Red LED 점등
- CONTROL : Alarm 발생 후부터 외부 분사장치가 동작 완료할 때까지 Blue LED 점등

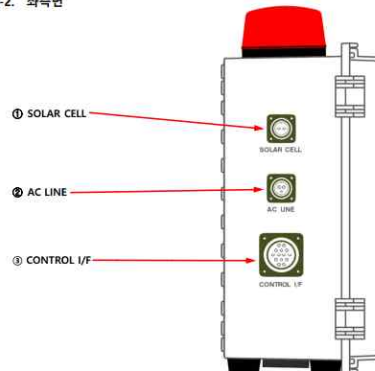
- ⑤ Key Switch
- Left, Right, Up(+), Down(-), ESC(Escape), ENT(Enter), POWER(전원)
 - 메뉴선택, 측정 실행/정지, Parameter 수정 및 설정
 - 시스템 리셋 (방향키 정 중앙에 구멍 위치)

- ⑦ Line Power Switch
- 외부 AC100 ~220V 상용 전원 스위치
 - 내부 SMPS 구동하여 내장 배터리를 충전하거나 동작 전원 공급
- ⑧ RS-232 Port
- 저장된 측정 데이터를 외부로 전송하기 위한 RS-232 통신 커넥터 (D-5UB 9pin)
 - 연결할 통신 포트 설정은 115200bps, no parity, 8bit, 1 stop-bit

- ⑨ 메모리
- 케이스 커버를 밀폐시켜주기 위한 고정장치
 - 기기 바닥 면의 센서 공기 통로를 제외한 나머지 부분은 IP65 수준 밀폐

- ⑩ Case
- IP53 등급으로 케이스 설계 (수직 설치 조건)
 - 먼지로부터 보호되나 센서 Inlet으로 일부 유입 가능 (주기적 필터 청소가 필요합니다)
 - 수직방향에서 60° 이하로 분사되는 액체로부터 보호됨 (침수로부터 보호되지 않습니다)

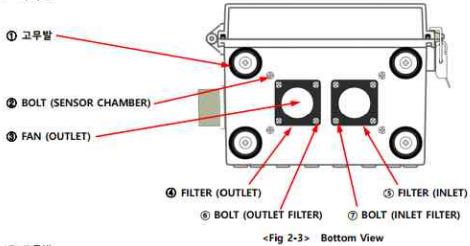
2-2. 좌측면



<Fig 2-2> Left Side View

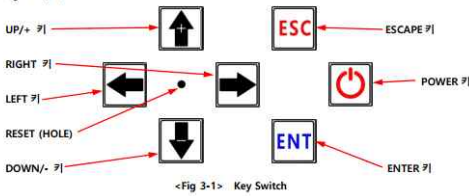
- ① SOLAR CELL Connector
 - 외부 태양 전지 연결용 방수 Connector
 - 정격 12~26V / 10~18W Panel 사용 (Peak 전압 32V)
 - 사용하지 않을 시 보호 캡 사용할 것
- ② AC LINE Connector
 - 상용 전원 연결용 방수 Connector
 - AC 90~250V / 1A / 50/60Hz + 접지
 - 사용하지 않을 시 보호 캡 사용할 것
- ③ CONTROL V/F Connector
 - 외부 분사 장치 제어용 Interface Connector
 - 분사 장치 동작 Start 접점 출력
 - 분사 장치 동작 Response 접점 입력
 - 보조 접점 입출력
 - RS-422/RS-485 통신 (Full/Half Duplex)
 - 사용하지 않을 시 보호 캡 사용할 것

2-3. 바닥면



- ① 고무발
 - 기기를 수평 바닥에 안착시키기 위한 부품.
 - 기기 설치 시 바닥면을 아래로 향하는 것을 기본으로 합니다.
- ② BOLT (Sensor Chamber)
 - 기기 내부의 Sensor Chamber를 고정하기 위한 볼트
 - 내부 Outlet FAN 교체 시 Sensor Chamber를 분리/조립 할 때 사용합니다.
 - M3 x 10mm
- ③ FAN (OUTLET)
 - Sensor Chamber에 대기를 환기시키기 위한 배출 FAN
 - Sensor 측정 전 설정된 시간 만큼 동작
- ④ FILTER (OUTLET)
 - FAN으로 이물질 유입을 차단하기 위한 배출 필터
 - 주기적으로 분리 청소가 필요합니다.
- ⑤ FILTER (INLET)
 - 이물질 유입을 차단하기 위한 흡입 필터
 - 주기적으로 분리 청소가 필요합니다.

3-2. Key 스위치



3-2-1. 기능

- UP / + : 메뉴 선택을 위로 이동하거나 수치 입력 시 수치를 증가 시킵니다.
- DOWN / - : 메뉴 선택을 아래로 이동하거나 수치 입력 시 수치를 감소 시킵니다.
- LEFT : 수치 입력 시 입력 위치를 왼쪽으로 이동 시킵니다. (자리만 이동)
- RIGHT : 수치 입력 시 입력 위치를 오른쪽으로 이동 시킵니다. (자리만 이동)
- ESCAPE : 수치 입력 시 현재 값 입력을 취소하고 다음 항목으로 이동하거나 메뉴로 이동합니다. 메뉴 상태일 때는 상위 메뉴로 이동합니다.
- ENTER : 수치 입력 시 현재 선택된 값을 입력하고 다음 항목으로 이동하거나 메뉴로 이동합니다. 메뉴 상태일 때는 현재 메뉴를 실행합니다.
- POWER : 2 초 이상 눌러서 기기의 전원을 ON/OFF 합니다. (소프트 파워 키) 전원을 다시 켜면 이전 종료 상태에서 다시 시작합니다.
- RESET : 기기가 오작동 등 이상이 있을 때 강제로 시스템을 리셋 시킵니다. (전원 꺼짐) 가느다란 침사 등을 이용하여 구멍에 수직으로 밀어서 작동 시킵니다.

3-3. LED Indicator

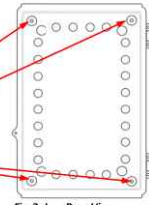
3-3-1. 상태 표시

- 기기 전면에 5개의 LED 표시등이 색상 별로 현재 기기의 동작 상태를 알려줍니다.
- Green LED : 기기 전원이 ON 상태일 때 녹색 LED가 점등됩니다. LCD 화면이 꺼졌을 때 전원의 ON/OFF 상태를 확인할 수 있습니다.
- Yellow LED : 센서가 측정을 진행 중일 때 황색 LED가 점등됩니다. 센서 FAN 구동부터 측정 완료까지 점등 상태를 유지합니다.
- Orange LED : 데이터 통신이 진행 중일 때 주황색 LED가 점등됩니다. 데이터를 송신/수신하는 중에만 점등됩니다.
- Red LED : 임의나 측정 값이 Level-4 이상일 때 적색 LED가 점등됩니다. 이때 기기 상부의 경광등도 동시에 점멸합니다. 측정값이 Level-4 미만이거나 외부 분사장치 처리가 완료되면 소등됩니다.
- Blue LED : 외부 분사장치가 작동 중일 때 청색 LED가 점등됩니다. 외부 분사장치 구동 명령 출력부터 구동 완료 입력까지 점등 상태를 유지합니다.

- ⑥ BOLT (OUTLET FILTER)
 - 배출 필터 분리/조립 할 때 사용합니다.
- ⑦ BOLT (INLET FILTER)
 - 흡입 필터 분리/조립 할 때 사용합니다.

2-4. 후면

고정 볼트 위치



- 기기를 벽이나 기둥에 수직으로 부착할 경우 사용되는 고정 볼트 위치
- 별도의 부착용 기구 장치를 제작해야 합니다. (Option)
- M5 X 10mm(길이)

3. 조작 방법

3-1. 전원 연결 및 작동 방법

3-1-1. 커넥터 연결

<Fig 2-2>에서 각각의 제공된 외부 기기의 커넥터를 꼽아 있는 방향에 맞춰 밀어서 넣고 결합 나사를 돌아가지 않을 때까지 시계 방향으로 돌려줍니다.

- ①SOLAR CELL 과 ②AC LINE 커넥터는 둘 중 하나는 연결되어야만 정상 작동할 수 있습니다. 본 기기는 기본적으로 내장 배터리를 주 전원으로 사용하기 때문에 Solar Cell이나 AC Line으로부터 공급받은 전원으로 내장 배터리를 우선적으로 충전하며 완충 시 동작 전원을 보장합니다. 외부 제어장치를 사용하지 않을 경우 ③CONTROL V/F 커넥터는 연결하지 않아도 됩니다.

3-1-2. 작동 방법

- 전원의 ON/OFF
본 기기의 전원은 소프트 키를 사용에서만 조작 가능합니다. 전면에 Power (ON) 키를 2 초 이상 눌러서 전원을 ON/OFF 할 수 있습니다.
- 상시 충전
실내에서 사용 시 AC LINE 커넥터를 연결한 후 전원의 LINE POWER 스위치를 위로 올려 충전 상태를 유지하는 것이 좋습니다. LINE POWER 스위치는 기기 전원을 ON/OFF 하지는 않습니다. 단지 내장 배터리 충전 및 보조 전원으로서의 전원 스위치로만 사용됩니다. 실외에서 사용 시 내장 배터리로만 동작이 가능합니다. 동작 시간은 사용 조건에 따라 다르지만 충전 상태와 동작 조건에 따라 3~18 시간 사용 가능합니다. 실외 설치 후 작동시킬 경우 SOLAR CELL을 연결하여 주간에 상시 충전 후 야간에 충전된 배터리로 동작시키는 것을 권장합니다.
- 배터리 충전 대기 시간
내장 배터리는 완충 후 최소 6개월 이상 충전 상태를 유지할 수 있습니다.

3-4. RS-232 Serial Communication Port

3-4-1. Logging Data 수집

- 외부 PC에서 RS-232 통신을 이용하여, 기기에서 측정된 센서 데이터를 실시간으로 수집하거나 저장된 데이터를 일괄적으로 다운로드 할 수 있습니다.
- 데이터를 받기 위해서는 전용 RS-232 통신선과 통신을 위한 통신 터미널 프로그램이 필요합니다.
- 통신 프로그램은 사용 전 기기와 일치하도록 아래와 같이 설정이 필요합니다.
 - 통신속도 : 115200 bps
 - 패리티 : No Parity
 - 통신단위 : 8 Bit
 - 중요결어 : 1 Stop Bit
 - 프롬체어 : None
- PC에서 수집된 데이터의 저장/관리는 통신 프로그램을 참고하시기 바랍니다.

4. 사용 방법

4-1. 초기 화면 및 동작

4-1-1. 초기 화면

전원 키 (ON)를 2 초간 누르면 전원이 투입되고 LCD 화면에 로고, 기기명, 모델번호, 버전, 및 기기 ID 가 2 초간 표시됩니다.

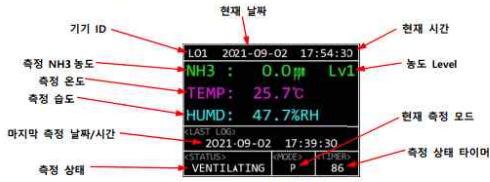


초기화면에서 기기의 고유 ID Number가 '101'로 보이며 황색 두 자리 숫자는 현재 기기에 설정된 고유 ID 번호입니다. 이 ID는 다수의 기기를 통신 네트워크를 구성하여 동시에 운영할 경우 통신 중에 기기 간의 구별을 하고 수집된 데이터의 구분을 위해 설정합니다. 뒤에 설명하는 시스넷 설정 메뉴에서 변경이 가능합니다.

4-1-2. 초기 동작

- 초기 화면이 유지되고 초기 동작을 시작할 때 경우에 따라 두 가지 동작을 합니다.
 - 전원이 기기 전원을 끄거나 배터리 부족으로 전원이 꺼졌을 경우, 꺼지기 직전 상황을 연계해서 동작합니다.
 - DATA LOGGING 화면에서 종료되면 전원이 다시 켜졌을 때 자동으로 DATA LOGGING을 시작합니다.
- 이때 연속측정 모드일 경우 센서 응답시간(T₉₀) 대기 후 바로 연속 측정을 시작하고, 주기측정 모드일 경우 다음 측정 주기에 도달하지 않았으면 다음 측정 주기까지 대기 후 측정을 시작하고, 이미 다음 측정 주기를 지나갔을 경우 바로 측정을 시작합니다.
- 메뉴 화면에서 종료했으면 전원이 다시 켜졌을 때 SYSTEM MENU 화면을 표시합니다.

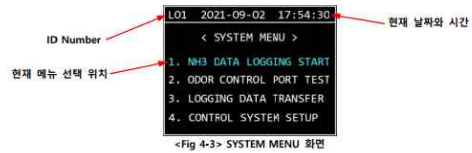
4-2. 측정 (Data Logging) 화면



- <Fig 4-2> 센서 측정 화면
- 기기 ID : 기기에 설정된 ID 번호를 표시합니다. 표시 가능 번호는 01~99 입니다. 00 번호는 Master 고유번호 이므로 설정을 바꾸기 바랍니다.
 - 현재 날짜 : 현재 기기 내부 달력의 날짜를 표시합니다. 시스템 초기화 후에는 2020-01-01 로 설정됩니다.
 - 현재 시간 : 현재 기기 내부 시계의 시간을 표시합니다. 초 단위로 갱신됩니다. 시스템 초기화 후에는 00:00:00 으로 표시됩니다.
 - 측정 NH3 농도 : 이전에 마지막으로 측정된 알도미아 농도를 표시합니다. 측정 범위는 0~1000ppm 입니다. 최대 2000ppm 까지 가능합니다.
 - 농도 Level : 측정된 농도를 설정된 Level 범위에 따라 숫자로 표시합니다. 각각의 Level 범위는 시스템 설정에서 사용자에게 의해 변경 가능합니다.
 - ※ NH3 농도와 Level 표시 색상은 Level 결과에 따라 다르게 표시됩니다.
 - Level 1 : 검정 바탕에 녹색 표시
 - Level 2 : 검정 바탕에 황색 표시
 - Level 3 : 검정 바탕에 주황색 표시
 - Level 4 : 검정 바탕에 적색 표시
 - Level 5 : 황색 바탕에 적색 표시
 - 측정 온도 : 이전에 마지막으로 측정된 온도를 표시합니다.
 - 측정 습도 : 이전에 마지막으로 측정된 습도를 표시합니다.
 - 마지막 측정 날짜/시간 : 이전에 마지막으로 측정이 완료된 날짜와 시간을 표시합니다.
 - 측정 상태 : 현재 측정 상태를 표시합니다. 측정 완료 또는 대기 시 'STANDBY' 가 표시됩니다. 'STANDBY' → 측정 시작 → 'VENTILATING' → 'MEASURING' → 측정 완료 → 'STANDBY'
 - 측정 모드 : 현재 측정 모드를 표시합니다.
 - C : Continuous Mode (연속 모드) - 측정이 시작되면 센서 전원이 투입되고 FAN 이 동작하며 센서 응답시간(Tao) 대기 이후 일정 시간 간격으로 연속 측정합니다. 센서와 FAN 이 계속 작동하고 전원이 계속 투입되므로 배터리 유지 시간이 짧습니다.
 - P : Periodic Mode (주기 모드) - 일정한 주기로 측정합니다. 측정 시작과 함께 센서 전원이 투입되고 FAN 을 구동하여 센서 응답시간(Tao) 대기 이후 측정이 완료되면 다음 측정 시간을 설정한 후 센서 전원을 차단하고 대기합니다. 배터리 유지 시간을 늘려줍니다.
 - 측정 상태 타이머 : 센서 측정 전 센서 응답시간(Tao)의 남은 대기 시간 및 실제 측정까지 남은 시간을 알려줍니다.

4-3. 메뉴 사용법

4-3-1. SYSTEM MENU



시스템 메뉴는 4가지 기능을 실행합니다. UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용하여 원하는 메뉴를 선택하면 선택된 메뉴 항목의 색상이 변경됩니다. 선택된 메뉴 위치에서 ENTER(↵) 키를 눌러서 선택된 메뉴를 실행합니다.

4-3-1-1. NH3 DATA LOGGING START

<Fig 4-2>와 같은 측정화면으로 전환 후 측정을 시작합니다. (4-2 참조)

현재 측정 모드가 연속모드(Continuous Mode)일 경우 측정화면으로 전환 후, 바로 측정을 위한 FAN 이 구동되고(VENTILATION) 계속해서 연속 측정이 진행됩니다.

현재 측정 모드가 주기모드(Periodic Mode)일 경우 측정화면으로 전환 후, 현재 시각이 이전에 설정된 측정 주기를 지났을 경우 바로 측정을 시작하고, 측정 주기에 도달하지 않았으면 대기 상태를 유지합니다.

측정 중에 ESCAPE(ESC) 키를 누르면 측정을 중지 후 대기상태를 유지합니다. 이 때 ENTER(↵) 키를 누르면 다시 측정을 시작합니다. 대기 상태에서 ESCAPE(ESC) 키를 누르면 SYSTEM MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-1-2. ODOR CONTROL PORT TEST

외부 분사 장치가 연결되어 있을 경우 알도미아 농도 경고 Level-4 이상일 때 Alarm 이 발생하며 자동으로 외부 분사 장치를 작동시킵니다. Alarm 이 발생하지 않았을 경우 외부 분사 장치를 수동 조작으로 작동 시키거나, 작동 테스트를 할 경우 사용합니다.



- 메뉴를 실행하면 <Fig 4-4> 시작 화면이 3 초동안 표시되고 외부 분사장치를 구동 준비를 합니다.
- 3 초 지연 후에 외부 분사 장치로 작동 신호를 출력하고 <Fig 4-5>와 같이 화면이 표시되며 외부 분사 장치로부터 설정된 시간 동안 응답 신호를 기다립니다. 응답 대기 시간은 SYSTEM SETUP 메뉴의

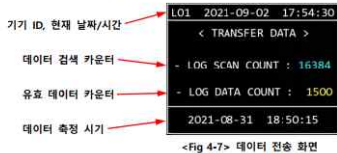
10. ODOR CONTROL TIMER 에서 변경할 수 있습니다. 응답 대기 시간을 조절할 동안 외부 분사 장치에서 응답 신호를 받지 못할 경우 SYSTEM MENU 화면으로 전환됩니다.



- 응답 신호를 받으면 <Fig 4-6>과 같이 화면 중앙의 진행 표시가 좌측으로 향하도록 표시되며 타이머는 동작하지 않습니다.
- 외부 분사 장치가 동작을 모두 종료하고 응답 신호가 모두 꺼지면 SYSTEM MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-1-3. LOGGING DATA TRANSFER

- 기기 내부에 저장된 LOGGING DATA 를 PC 로 전송 받을 때 실행합니다. 실행 전에 사전 준비 작업을 해야 합니다. 준비 작업은 아래와 같습니다.
- 기기의 전원 RS-232 포트와 PC 통신포트를 전용 통신 케이블로 연결합니다.
 - PC 에서 다운로드 할 통신 프로그램을 실행합니다. (RS-232 터미널 프로그램)
 - PC 즉 연결된 COM 포트의 통신 환경을 설정합니다.
 - 통신속도 : 115200 bps
 - 패리티 : No Parity
 - 통신단위 : 8 Bit
 - 중요길어 : 1 Stop Bit
 - 흐름제어 : None
 - 기기의 3. LOGGING DATA TRANSFER 메뉴를 선택한 후 ENTER(↵) 키를 누르면 전송 화면이 표시되고 기기 내부의 데이터를 PC 로 전송합니다.



전송 중에 데이터 검색 카운터는 내부에 저장된 데이터의 검색 개수입니다. 데이터 저장 위치는 최대 16384 개입니다. 검색 중 유효한 데이터가 발견될 경우 유효 데이터 카운터를 증가시키고 그 데이터의 측정 시기를 화면 하단에 표시해 줍니다. 전송 중 중지를 원하면 ESCAPE(ESC) 키를 누릅니다. 데이터 전송이 모두 완료되면 잠시 후 SYSTEM MENU 화면으로 전환됩니다. 전송된 데이터는 자동으로 삭제되지 않습니다. 측정된 데이터는 최대 16384 개까지 저장되며, 가장 오래된 저장 위치에서 256 개 단위로 삭제된 후 덮어 씌워집니다. 데이터를 전송 후 기기에서 필요가 없을 시 SYSTEM SETUP 메뉴의 12. ERASE ALL LOG DATA 를 이용하여 모든 데이터를 삭제할 수 있습니다.

4-3-2. SYSTEM SETUP

SYSTEM SETUP 은 13 개의 항목으로 구성되어 각 항목의 설정을 충분히 이해한 후 조작하기 바랍니다.

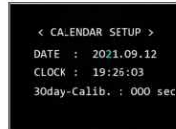
4-3-2-1. DEVICE I/D NUMBER

하나 이상의 기기를 운용할 때 통신이나 저장 데이터의 구분을 위하여 설정합니다. 통신 상에서 통신 00 번은 마스터 장비에서 사용하므로 기기에서 사용할 수 있는 번호는 01 에서 99 까지이며 중복해서 설정하면 안됩니다.



LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며, ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-2. CALENDAR/CLOCK SETUP



- 내부 달력/시계를 설정하는 기능입니다. 시스템 초기화 후에 달력/시계는 2020.01.01 / 00:00:00 으로 설정이 시작됩니다. 입력 가능한 년도는 2000 ~ 2099 까지 입니다. 시간은 24 시간제로 입력합니다. 잘못 입력된 날짜 시간 같은 자동으로 보정됩니다. 현재 달력과 시간 입력 값을 변경하시고 반드시 확인 바랍니다.
- 30day-Calib. 는 시계 보정 값입니다. 30 일 간격 동안 빨라진 시계의 초 값을 입력하시면 됩니다. 시계가 느리질 경우는 보정이 적용되지 않으므로 000 을 입력 하시면 됩니다. 입력된 달력/시계 값의 적용 시기는 30day-Calib. 값을 입력 후 ENTER(↵) 키를 누른 순간부터 입니다.

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 다음 위치로 이동합니다. ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 다음 위치로 이동합니다. 마지막 항목까지 수정을 완료 후 ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며, ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-3. SCREEN DISPLAY TIME

내부 배터리 소모량을 줄이기 위해 일정 시간 동안 기기를 조작하지 않거나 측정을 안 할 경우 자동으로 LCD를 꺼줍니다. 꺼진 상태에서 기기를 조작하거나 측정이 시작되면 LCD 화면은 다시 이전 상태로 전환됩니다.



<Fig 4-10> DISPLAY TIME 설정

- 설정 가능한 시간은 5 ~ 600 초입니다. 0으로 설정할 경우 화면은 꺼지지 않습니다.

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며, ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-4. DATA LOGGING MODE

암모니아 센서의 측정 방식을 설정합니다. 연속 측정 방식과 주기 측정 방식이 있습니다.

- 연속 측정 방식 (Continuous Mode)

측정이 시작되면 센서 모듈에 즉시 전원이 투입되고, Ventilation FAN이 작동합니다. 응답 대기 시간(T₉₀)이 지나면 측정이 시작되고 측정이 끝나면 결과를 기록 후 통신라인으로 결과를 전송합니다. 이후 일정한 지면 시간 후 다시 측정을 시작하며 이 과정을 반복 합니다. 연속 측정 시에는 센서 모듈에 전원이 항상 투입된 상태를 유지하며 FAN도 계속 구동됩니다. 연속 측정값을 얻을 수 있지만 전력 소모가 많으므로 배터리 전원으로서는 장시간 측정이 안됩니다. 장시간 측정을 하기 위해서는 SOLAR CELL이나 AC LINE 등의 외부 전력을 연결해야 합니다.

- 주기 측정 방식 (Periodic Mode)

측정이 시작되면 센서 모듈에 즉시 전원이 투입되고, Ventilation FAN이 작동합니다. 응답 대기 시간(T₉₀)이 지나면 측정이 시작되고 측정이 끝나면 결과를 기록 후 통신라인으로 결과를 전송한 후 다음 측정 주기를 계산하여 저장하고 FAN과 전원을 차단합니다. 내부 시계가 다음 측정 주기를 감지하면 이전 측정과정을 다시 반복합니다. 주기 측정 시에는 현번의 측정 후 센서 측정 관련 전원을 모두 차단하고 대기 하므로 전력소모를 줄일 수 있고 데이터 저장량을 줄일 수 있습니다. 내부 배터리가 완충되어 있을 경우 전원 부족 없이 최대 72시간까지 측정이 가능합니다.



<Fig 4-11> LOGGING MODE 설정

UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 항목을 선택합니다. 선택 값 확인 후, ENTER(↵)키나 ESCAPE(ESC)키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환됩니다.

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 다음 위치로 이동합니다. ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 다음 위치로 이동하며, 마지막 항목까지 수정을 완료 후 ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며 ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-8. ALARM LEVEL SETUP

ALARM Level 1 ~ 5의 범위를 설정합니다. 각 Level의 기준값과 Hysteresis를 설정하며, 측정 농도가 상승할 때는 상위 Level 기준값 + Hysteresis 수치를 넘어가야만 상위 Level로 올라가게 되고, 측정 농도가 하강할 때는 하위 Level 기준값 이하로 떨어지야만 하위 Level로 내려가게 됩니다. 적당한 Hysteresis 설정은 측정 농도의 변동 요자로 인한 Level 측정 오류를 방지할 수 있습니다. Hysteresis 설정이 불필요할 경우 0으로 설정하기 바랍니다.

※ Alarm Lamp와 외부 풍사 수집기 구조는 LEVEL 4부터 작동합니다. Alarm Level 설정 시 참고 바랍니다.



<Fig 4-15> ALARM LEVEL 5 설정

- Alarm Level 설정은 Level 5부터 시작합니다. Level 5의 Hysteresis는 입력하지 않습니다.
- **입력 설정 값의 단위는 0.1ppm**입니다. 따라서 <Fig 4-15>의 NH3 농도는 20.0ppm을 의미합니다.



<Fig 4-16> ALARM LEVEL 설정

- Alarm Level 4 ~ 1을 차례로 설정합니다.
- <Fig 4-16>의 설정은 NH3 10.0ppm, Hysteresis 1.5ppm을 의미합니다.

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 다음 위치로 이동합니다. ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 다음 위치로 이동하며, 마지막 항목까지 수정을 완료 후 ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 다음 Level로 화면이 전환되며 ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 다음 Level로 화면이 전환됩니다. 마지막 Level 1까지 입력이 완료되면 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-5. CONTINUOUS INTERVAL

연속 측정 시 측정 시간 간격을 설정합니다.

- 설정 가능한 시간은 5 ~ 200 초입니다. 범위를 벗어난 값은 자동으로 수정됩니다.



<Fig 4-12> CONTINUOUS INTERVAL 설정

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며, ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-6. SENSOR T90 TIME

센서의 전원 투입 후 응답 대기 시간을 설정합니다. Sensor Response Time (T₉₀)은 센서에 전원이 투입되고 출력 신호가 90% 이상 출력될 때까지의 시간입니다. 센서의 제조사와 종류에 따라 특성 값이 다르므로 확인 후 설정하시기 바랍니다.

- 설정 가능한 시간은 5 ~ 300 초입니다. 범위를 벗어난 값은 자동으로 수정됩니다.

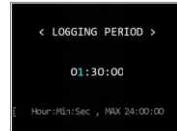


<Fig 4-13> SENSOR RESPONSE TIME 설정

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며, ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-7. PERIODIC LOGGING TIME

주기 측정 모드의 측정 시간 간격을 설정합니다. 설정 가능한 시간은 최대 24시간이며 최소 시간은 SENSOR T90 TIME 보다는 커야 합니다. 범위를 벗어난 시간은 자동으로 수정됩니다.



<Fig 4-14> LOGGING PERIOD 설정

4-3-2-9. ALARM LAMP CONTROL

Alarm Level 4 이상의 측정 상태일 때 Alarm Lamp(경광등)의 작동 여부를 설정합니다.



<Fig 4-17> ALARM LAMP CONTROL 설정

UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 항목을 선택합니다. 선택 값 확인 후, ENTER(↵)키나 ESCAPE(ESC)키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-10. ODOR CONTROL TIMER

외부 풍사 장치의 작동 신호 출력 후, 응답 신호가 입력될 때까지 대기하는 시간을 설정합니다.

- 설정 가능한 시간은 5 ~ 300 초입니다. 범위를 벗어난 값은 자동으로 수정됩니다.



<Fig 4-18> ODOR CONTROL TIMER 설정

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 MENU 화면으로 전환되며, ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-11. SENSOR CALIBRATION

센서를 교체하거나 장시간 시간이 경과한 경우 센서의 측정 값이 정확하지 않을 수 있습니다. 이 경우 센서의 보정이 필요합니다. 센서 보정 시 정확한 농도가 확인된 적정량의 표준 GAS가 필요합니다. 기기 하단의 INLET FILTER를 통해 GAS를 주입하면서 센서 보정을 시작합니다.



<Fig 4-19> SENSOR CALIBRATION 화면

센서 보정이 시작되면 Ventilation FAN이 작동하며 센서 응답 대기 시간(T₉₀) 경과 후 센서 측정이 완료되면 측정된 센서 값과 A/D DATA 값이 화면에 표시됩니다.

- 사용된 표준 GAS 농도를 알고 있을 경우 농도를 입력하고 A/D DATA 는 유지한 채로 보정 종료 합니다.
- 표준 GAS 농도를 모르거나 기본 값으로 설정할 경우 기기의 기본 값으로 입력하고 종료합니다.
- 기본값은 **NH3 : 0527 (52.7ppm), A/D : 0966** 또는 **NH3 : 1000 (100.0ppm), A/D : 1833**
- **농도 입력 설정 값의 단위는 0.1ppm** 입니다.

LEFT(←), RIGHT(→) 키를 사용해 변경할 자리를 선택한 후 UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 설정 값을 변경합니다. 변경된 값을 확인 후, ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 다음 위치로 이동합니다. ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 값 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 다음 위치로 이동합니다. 마지막 항목까지 수정을 완료 후 ENTER(↵) 키를 누르면 설정 값이 바뀐 후 다음 MENU 화면으로 전환되며 ESCAPE(ESC) 키를 누르면 설정 변경이 취소되고 이전 값을 유지한 채로 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-12. ERASE ALL LOG DATA

모든 센서 측정 값과 기기 상태 데이터는 내부 Flash 메모리에 저장됩니다. 따라서 내부 Back-Up 배터리 유무와 상관 없이 10 년이상 데이터가 유지됩니다. 데이터 용량은 최대 16384 개 까지 저장하며 저장 용량이 초과한 경우 제일 오래된 데이터부터 256 개 단위로 데이터를 지우고 지운 위치에 다시 기록합니다. 저장 데이터를 PC로 전송 받을 경우 필요 없거나 이미 전송 받았던 데이터 까지 함께 받으면 큰 용량으로 인해 전송 시간이 길어지고 중복 데이터로 인해 데이터 관리가 어렵습니다. 데이터를 전송 받은 후에는 데이터 유지가 반드시 필요한 경우가 아닌면 가급적 ERASE ALL LOG DATA 를 실행하여 저장된 모든 데이터를 소거해 주는 것이 좋습니다.



<Fig 4-20> ERASE ALL LOG DATA

UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 항목을 선택합니다. 선택 값 확인 후, ENTER(↵)키를 누르면 데이터를 모두 소거하고 MENU 화면으로 전환하고, ESCAPE(ESC)키를 누르면 데이터 소거 작업 없이 MENU 화면으로 전환됩니다.

4-3-2-13. SYSTEM INITIALIZATION

기기의 모든 설정을 초기 상태로 만듭니다. 기기 이상이나 오류가 있을 때 SYSTEM INITIALIZATION 을 실행합니다. 측정 기록 및 내부의 모든 설정이 초기화 하므로 실행 전에 중요한 내용은 따로 기록한 후 초기화 작업 후에 다시 설정해 주시기 바랍니다.



<Fig 4-21> SYSTEM INITIALIZATION

5-1-2. SOLAR CELL Connector

외부 태양 전지 패널을 연결하기 위한 MS 커넥터입니다. (MIL-STD : Military Standards) 납땜 연결 방식이며 표준 부품 모델은 MS3106E10SL-4S 입니다. Solar Cell 의 규격 : 출력 12~26V / 10~18W Panel 사용 (Peak 전압 32V 이하)



<Fig 5-2> SOLAR CELL Connector (납땜 방향)

- A - Solar Cell + 출력 선 연결
- B - Solar Cell - 출력 선 연결

5-1-3. AC LINE Connector

외부 상용 전원을 연결하기 위한 MS 커넥터입니다. 납땜 연결 방식이며 표준 부품 모델은 MS3106E10SL-3S 입니다. AC Line Power : AC 90~250V, 1A, 50/60Hz, 접지



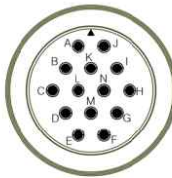
<Fig 5-3> AC LINE Connector (납땜 방향)

- A, B - 단상 220VAC 입력
- C - 접지선 연결 (Field Ground)

5-1-4. CONTROL I/F Connector

외부 분사 장치 제어용 Interface 를 위한 MS 커넥터입니다. 외부 분사 장치로 작동 신호를 출력하거나 동작 상태를 입력 받으며, 자후에 통신으로 원격 제어 등을 위한 예비 기능이 있습니다. 납땜 연결 방식이며 표준 부품 모델은 MS3106E20-27P 입니다.

- A, B - 외부 분사 장치 Start 신호 출력 (접점 출력)
- C, D - 보조 출력 (접점 출력)
- E, F - 외부 분사 장치 용량 신호 입력 (접점 입력)
- G, H - 보조 입력 (접점 입력)
- I - RS-422/485 통신선 (A / A+Y)
- J - RS-422/485 통신선 (B / B+Z)
- K - RS-422 통신선 (V)
- L - RS-422 통신선 (Z)
- M - 외부 Interface 전원 OV
- N - 접지 (Field Ground)



<Fig 5-4> CONTROL I/F Connector (납땜 방향)

UP(↑), DOWN(↓) 키를 사용해 항목을 선택합니다. 선택 값 확인 후, ENTER(↵)키를 누르면 초기화 작업을 진행 후 MENU 화면으로 전환하고, ESCAPE(ESC)키를 누르면 초기화 작업 없이 MENU 화면으로 전환됩니다.

SYSTEM INITIALIZE 기능을 실행하여 초기화 되는 내용은 다음과 같습니다.

- 내부 측정 데이터를 모두 지우고 데이터 Count 를 0 으로 설정
- 내부 달력/시계를 2020-01-01, 00:00:00 으로 설정하고 보정 값은 43. 설정 후 달력/시계를 구동
- ID Number = 00
- 최근 측정 기록 : NH3 0.0ppm, Level 1, 온도 0.0°C, 습도 0.0%RH, 측정시기 2000-01-01 00:00:00
- A/D Calibration : NH3 Corcn. : 52.7ppm, A/D Data : 966
- Periodic Mode
- Periodic Time : 1800 sec (3 minute)
- Continuous Time : 30 sec
- Sensor Response Time(T₉₀) : 90 sec
- Display Time : 30 sec
- Odor Control Time : 30 sec
- Alarm Lamp ON
- Alarm Level :
 - ① Level 1 - Conc : 1.5ppm, Hyst : 0.2ppm
 - ② Level 2 - Conc : 3.0ppm, Hyst : 0.2ppm
 - ③ Level 3 - Conc : 5.0ppm, Hyst : 0.5ppm
 - ④ Level 4 - Conc : 8.0ppm, Hyst : 0.8ppm
 - ⑤ Level 5 - Conc : 12.0ppm, Hyst : ---
- All LED OFF (Power LED 제외)
- 모든 제어 출력 OFF
- SYSTEM MENU 에서 시작

5. 설치 방법

5-1. 외부 커넥터

5-1-1. RS-232 Connector

기기 전면에 있는 RS-232 커넥터는 내부 저장된 측정 데이터를 PC로 전송할 때 사용합니다. 사용할 PC 커넥터는 D-SUB 9pin Male 형태입니다. (Pin 이 9개 보이는 형태) 일반적으로 시장에서 판매되는 USB-to-232 변환 케이블 제품을 사용하시면 됩니다.



<Fig 5-1> USB to RS-232 Converter Cable

5-2. 장착 및 관리

5-2-1. 설치 높이

기기 설치 시 기기의 고무발은 기준으로 지상으로부터 1.2 ~ 1.5 미터 높이의 수평 장소에 수직 안착 설치를 기본으로 합니다. 기둥이나 벽에 고정 시할 경우 기기 뒷면에 부착하기 위한 별도의 기기 장치를 제작해야 합니다. 기기 장치 제작 시 기기 제조사에 문의 후 제작 바랍니다.

5-2-2. 설치 관리

기기에 직사광선의 노출을 피하고 눈, 비, 우박으로부터 보호되어야 합니다. 수시로 백딩엔과 Filter 사이의 이물질 제거해야 하며, 정기적으로 필터를 청소하고 상태를 확인한 후 일정한 기간 마다 필터를 교체해 주셔야 합니다.

5-2-3. 교체 부품 관리

5-2-3-1. BACK-UP Battery

기기의 달력/시계 구동 및 내부 RAM 메모리 데이터를 유지하기 위한 배터리가 내장되어 있습니다. 내장 배터리 수명은 3 년 정도 유지되나 기기 운용 상태에 따라 교체가 필요할 수 있습니다. 시스템 정보가 바뀌거나 달력/시계가 정상적이지 않을 때 배터리를 교체해 줍니다. 배터리 교체는 기기 전원 패널을 분리해야 합니다. 기술적 지원이 필요할 경우 제조사에 문의 바랍니다.

- BUTTON CELL BATTERY : CR2032, 3V/210 mAh, Li/MnO₂, ø20 X 13.2mm

5-2-3-2. AIR FILTER

센서 측정 전 향성 외부 기체를 순환시키기 때문에 기기 바닥면 위치한 흡입구와 배출구 양쪽 모두 AIR FILTER 가 부착되어 있습니다. 기기를 계속 구동 할 경우 주기적으로 FILTER CAP 을 탈착하여 청소해 주셔야 합니다. 또한 1년마다 FILTER 를 교체해 주는 것이 좋습니다. 기기 내부를 분해하지 않고 외부에서 부착 볼트만 풀면 필터 청소 및 교체가 가능합니다. INLET 과 OUTLET 부속 볼트의 길이가 다르므로 혼용하지 않도록 주의하기 바랍니다.

5-2-3-1. VENTILATION FAN

센서 챔버의 기체를 순환시키기 위해 배출구 내부에 FAN 이 장착되어 있습니다. FAN 은 사용 시간에 따라 수명이 정해집니다. 장시간 사용하면 잡음, 진동, 정지 등의 현상이 발생합니다. 순환 FAN 의 교체는 기기 전원 패널을 분리하고 행비도 함께 분리해야 합니다. 교체 작업 시 기술적 지원이 필요할 경우 제조사에 문의 바랍니다.

- FAN : WJ82401012H-F69, 12V/0.7A, 6000rpm, 40 X 40 X 10mm (동등 성능 제품 대치 가능)

5-2-3-1. NH3 SENSOR

NH3 Gas Sensor 는 사용 수명이 있습니다. 기기에 사용된 센서의 제조사 특성 상 일반적으로 2 년이며 최대 3 년까지 사용한다고 되어 있습니다. 기기 특성 상 간헐적 측정 할 경우 특별한 고장이 없을 경우 3 년 사용이 가능합니다. 사용 중 측정 오차가 크거나 측정이 안될 경우 센서를 교체하기 바랍니다. 센서 교체는 전면 하단 패널을 분리해야 합니다. 내부 센서 PCB 를 분리 후 센서를 교체합니다. 정확한 측정을 위해서는 센서 교체 후 보정 작업이 반드시 필요합니다. 교체 작업 시 기술적 지원이 필요할 경우 제조사에 문의 바랍니다.

- NH3 Sensor : ME3-NH3 (WINSENSE), 0 ~ 100 ppm (200ppm=ma), Electrochemical sensor

6. 기타 정보

6-1. DOWNLOAD DATA

RS-232 Port 를 통해서 다운 받은 데이터는 측정 시기, 측정 값, 기기 상태 등을 포함하고 있습니다. 데이터는 일반 문자 형식으로 되어 있으며 모든 항목은 심표(S)와 개행문자(CR/LF)로 구분되어 있으므로 일반 문서 편집기에서 확인이 가능하며 스프레드시트(EXCEL)에서 작업이 가능합니다.

L01 , 2021-09-02 , 17:20:30 , 13.5 , 5 , 25.6 , 67.8 , P , O , E , A , R
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪

- ① 기기의 ID Number : 01 ~ 99
- ② 측정 날짜 : YYYY-MM-DD (2000-01-01 ~ 2099-12-31)
- ③ 측정 시간 : 24 시간제 hh:mm:ss (00:00:00 ~ 23:59:59)
- ④ 암모니아(NH3) 농도 : 단위 ppm (0.0 ~ 199.9)
- ⑤ 암모니아 농도 Level (1 ~ 5)
- ⑥ 대기 온도 : 단위 °C (-40.0 ~ 79.9)
- ⑦ 대기 습도 : 단위 %RH (상대습도, 0.0 ~ 99.9)
- ⑧ 측정 모드 (Logging Mode)
 - C : 연속 측정 모드 (Continuous)
 - P : 주기 측정 모드 (Periodic)
- ⑨ 외부 분사 장치 상태
 - F : OFF (외부 분사 종료)
 - O : ON (외부 분사 장치 작동 중)
- ⑩ 사용 전원 상태
 - B : Battery (내장 배터리)
 - E : External Power (Solar Cell or Line Power)
- ⑪ 알람 발생 상태
 - N : Normal
 - A : Alarm (알람 발생 처리 중)
- ⑫ 전송 데이터 구분
 - R : Real Time (측정 데이터 실시간 전송)
 - M : Memorized (저장된 데이터 전송)

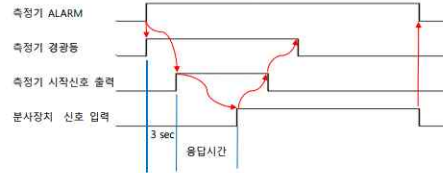
6-2. 외부 분사 장치 제어

6-2-1. 제어 신호

측정기의 암모니아(NH3) 측정 농도가 Level-4 이상일 경우 경광등을 점등하고 외부 분사장치로 작동 시작 신호를 송출 합니다. 외부 분사장치는 신호를 받은 즉시 분사장치를 구동하고 구동이 시작되면 측정기로 응답신호를 송출하고 상태를 유지합니다. 만약 제한 시간 내로 응답 신호가 없을 경우 외부 분사장치의 제어를 종료합니다. 측정기는 외부 분사장치의 응답 신호를 받은 후 경광등을 소등하고 외부 분사장치의 응답 신호가 꺼질 때까지 대기 합니다. 응답 신호가 꺼지면 제어 과정을 종료 합니다.

- 외부 분사장치 작동 시작 신호 : 접점 출력, 접점 용량 최대 250V/1A (<Fig 5-4> A-B)
- 외부 분사장치 작동 응답 신호 : 접점 입력, 접점 저항 100Ω 이하 (<Fig 5-4> E-F)

6-2-2. 신호 Timing



주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 유용농생명자원산업화기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 유용농생명자원산업화기술개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.