

318014-3

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개() 발간등록번호()

농생명산업기술개발사업 2021년도 최종보고서

11-1543000-003558-01

양돈장 악취저감을 위한 액비순환 운용 기술 및
분뇨처리 방식별 효과 규명

2021.06.15

주관연구기관 / (주)에코바이론
협동연구기관 / 축산환경관리원
동국대학교
한국축산경제연구원

양돈장 악취저감을 위한 액비순환 운용 기술 및 분뇨처리 방식별 효과 규명

2021

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “양돈장 악취저감을 위한 액비순환 운용기술 및 분뇨처리 방식별 효과규명”(개발기간 : 2018.04.26.~ 2020.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.06.15.

주관연구기관명 : (주)에코바이론 (대표자) 이 종 국  (인)

협동연구기관명 : 축산환경관리원 (대표자) 이종덕  (인)

동국대학교 (대표자) 이 상 룡  (인)

축산경제연구원 (대표자) 이 상 철  (인)

주관연구책임자 : 강구상

협동연구책임자 : 이종덕, 이상룡, 이상철

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	318014-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.04.26. ~ 2020.12.31	단 계 구 분	개발연구
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업 기술개발 사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	양돈장 악취 저감을 위한 액비순환 운용 기술 및 분뇨처리 방식별 효과 규명			
연구책임자	강 구 상	해당단계 참여연구원 수	총: 20명 내부: 20명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 36명 내부: 36명 외부: 명	총 연구개발비	정부:825,000천원 민간:275,000천원 계:1,100,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)에코바이론			참여기업명	
	축산환경관리원 악취관리센터				
	동국대학교 토양대기환경실험실			(주)에코바이론	
	한국축산경제연구원				
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

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

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	매뉴얼 책자	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호		1020180	LEM-04								
		123846		-2020-00							
		1020190 074953			0008-01						

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

- 양돈장의 악취저감을 위한 액비순환시스템의 보급, 확산, 운용 개선을 위한 액비순환시스템 운용기술 개발 및 실증을 목표. 최종적으로 돈사 액비순환시스템 설치 및 운용 관리 매뉴얼 제작을 위한 연구.
- 특허등록 2건, 기술이전 2건을 통한 매출액 약 8억8900만원, 교육 및 컨설팅 25건, 인력양성 73건, 논문발표 비SCI 2건, 학술발표 5건, 정책건의 4건, 매뉴얼제작 1건의 성과를 거둠.

보고서 면수

〈 국 문 요 약 문 〉

연구개발목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양돈장의 악취저감을 위한 액비순환시스템의 보급·확산과 운용 개선을 위한 액비순환시스템 운용기술의 개발 및 실증 ○ 돈사 액비순환시스템 설치 및 운용 관리 매뉴얼 제작 																																											
연구개발내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 액비순환 기본 시설 설치 조건 확립(설계 최적화) - 액비제조기술 확립(악취최소화) - 돈사 액비 순환기술 확립(순환 및 배출량) ○ 돈사 액비순환 기술 적용을 위한 시설 설치 및 액비 순환기술을 매뉴얼화 <ul style="list-style-type: none"> - 돈사유형별(일관비육, 비육전문, 번식전문) 구분 적용 - 액비 순환단계별 운전·관리기준 설정 - 액비순환시스템 규모, 사양단계별 설치 및 운용비용 산정 ○ 분뇨처리 방식별 따른 악취저감 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 비교대상: 피트 침전물 미제거(액비순환 미적용)/피트 침전물 제거/피트 침전물 제거후 액비순환 * 3개지역의 양돈장(제주, 경산, 의령) - 사육환경 개선효과 비교: 돈사내 악취, 분진, 온·습도 등 ○ 분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 생산성 개선효과 비교: PSY, MSY, 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율 등 - 분뇨처리 방식별 경제성(비용/편익) 분석 비교 																																											
연구개발성과	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="2">논문</th> <th rowspan="2">학술 발표</th> <th rowspan="2">교육 지도</th> <th rowspan="2">인력 양성</th> <th rowspan="2">정책 활용</th> <th rowspan="2">매뉴얼 책자</th> <th rowspan="2">기술 이전</th> <th colspan="2">특허</th> <th colspan="2">제품화</th> </tr> <tr> <th>SCI</th> <th>비 SCI</th> <th>출원</th> <th>등록</th> <th>제품화 (건)</th> <th>매출액 (백만원)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>성과</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>5</td> <td>25</td> <td>73</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>21</td> <td>1661.7</td> </tr> </tbody> </table>												구분	논문		학술 발표	교육 지도	인력 양성	정책 활용	매뉴얼 책자	기술 이전	특허		제품화		SCI	비 SCI	출원	등록	제품화 (건)	매출액 (백만원)	성과	0	2	5	25	73	4	1	2	2	2	21	1661.7
구분	논문		학술 발표	교육 지도	인력 양성	정책 활용	매뉴얼 책자	기술 이전	특허		제품화																																	
	SCI	비 SCI							출원	등록	제품화 (건)	매출액 (백만원)																																
성과	0	2	5	25	73	4	1	2	2	2	21	1661.7																																
활용계획 및 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비순환 기본 시설 설치 조건 및 액비제조기술, 순환기술 확립을 통한 액비순환시스템 시설, 관리조건 표준화 ○ 돈사 액비순환시스템 시설 설치 및 유지관리를 포함한 매뉴얼 제작 보급 ○ 분뇨처리 방식별 악취저감 평가 및 생산성, 경제성 평가를 통한 국내 실정에 맞는 경제적인 액비순환 모델 제시 																																											
핵심어 (5개 이내)	국문	양돈장	액비순환	악취저감	고액분리							침전물제거																																
	영문	Swine housing	Liquid fertilizer circulation	Odor reduction	soil/liquid separation							Sludge removal																																

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발의 필요성	1
1-1. 연구개발의 개요	1
1-2. 연구개발 대상의 국내·외 현황	5
2. 연구개발의 목표 및 결과	16
2-1. 연구개발의 최종목표	16
2-2. 연차별 개발목표 및 내용	18
2-3. 연구개발 결과	31
2-4. 연구개발 성과	212
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	221
4. 연구결과의 활용 계획 등	226
붙임. 참고 문헌	227

1. 연구개발의 필요성

1-1. 연구개발의 개요

가. 연구의 배경

(1) 축산업의 기업화 및 전업화와 함께 농촌의 도시화에 따라 악취 민원 지속적으로 증가

- '05년 악취방지법 시행 이후에도 악취 민원은 꾸준히 증가하여 '15년 악취 민원은 15,573건이 발생하였고, 전년에 비해 5.1% 증가하였으며 이중 축산시설은 악취배출시설 전체 민원의 40% 수준을 차지하고 있음

축산시설은 악취배출시설 전체 민원의 40% 수준

구분	총계		규제대상 악취배출 사업장													
	민원 건수	피민원 업소수	계				신규대상시설				신규대상외시설					
			민원 건수	피민원 업소수	민원 건수	피민원 업소수	민원 건수	피민원 업소수	민원 건수	피민원 업소수	민원 건수	피민원 업소수	민원 건수	피민원 업소수		
계	10,894	5,100	9,162	4,063	1,354	254	194	14	7,614	3,795	1,732	1,037	9	8	1,723	1,029
축산시설	4,323	2,557	3,626	2,077	0	0	0	0	3,626	2,077	697	480	0	0	697	480
폐기물	948	381	804	341	121	41	7	3	676	297	144	40	0	0	144	40
조립금속제품·기계·기기·장비·운송장비·가구 및 그 밖의 제품 등의 표면처리시설	731	355	652	286	94	53	0	0	558	233	79	69	3	3	76	66
그 밖의 시설	500	364	317	209	22	21	0	0	295	188	183	155	2	1	181	154
금속의 용융·재련시설	450	129	439	123	255	34	0	0	184	89	11	6	0	0	11	6
합성고무 및 플라스틱물질 제조시설	449	198	370	164	9	7	0	0	361	157	79	34	2	2	77	32
고무 및 고무제품 제조시설	426	55	371	29	203	2	101	1	67	26	55	26	0	0	55	26
비료 및 질소화합물 제조시설	351	94	299	82	1	1	46	6	252	75	52	12	0	0	52	12
사료 제조시설	327	49	274	37	22	1	21	1	231	35	53	12	0	0	53	12
석유정제품 제조시설	269	17	263	15	232	2	0	0	31	13	6	2	0	0	6	2
그 외 시설	2,373	1,206	1,840	861	414	110	19	3	1,407	748	533	345	4	3	529	342

자료 : 환경부(2016) 2015년 악취민원 실태조사

(2) 환경부에서는 축산시설에 의한 악취민원을 최소화 하기 위해 가축분뇨법 및 악취방지법을 강화 하는 추세

<가축분뇨법 최근 주요 규제강화 내용>

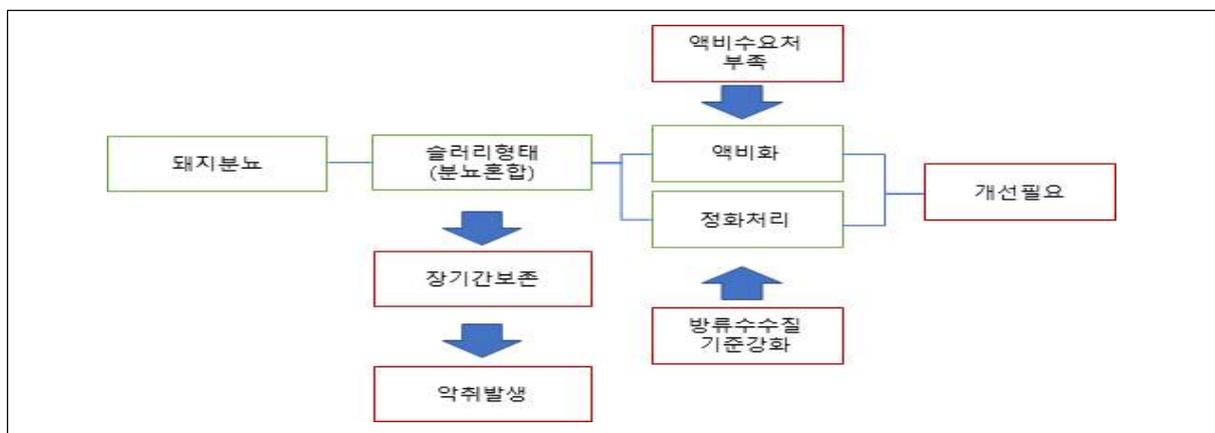
조문	주요 규제내용	처벌
가축사육의 제한 구역 확대 * 제8조	○ 지방자치단체 조례로 가축사육 제한 - 주거밀집지역, 상수원 관리지역 - 실태조사 결과에 따라 환경부장관 등이 해당 지자체에 가축사육제한 구역 지정을 요청	○ 제한구역에서 축사의 이전 등 조치명령을 이행하지 아니한 자에게 1년이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금 * 최근 가축사육제한거리 강화 ※ 돼지·닭·오라: 500m → 1,000m
퇴비·액비 관리 강화 * 제13조의2, 제15조 및 제53조	○ 「비료관리법」에 따른 비료공정규격을 적용받고 있지 아니한 가축분뇨에 대해 퇴비액비화기준 기준 설정(부숙도·수분·염분·구리·아연 등)	○ 검사기준을 위반하거나 부적합 퇴비·액비 생산 또는 유출 시 과태료(최대 1천만원 이하) 부과 또는 고발
위법 액비살포자 및 경종농가에 대한 벌칙 신설 * 제51조 및 제53조	○ 퇴비·액비를 살포한 자가 업무상 과실로 가축분뇨 또는 퇴비·액비를 공공수역 유입 또는 제17조제1항에 따른 액비살포기준 등 위반시 벌칙조항을 정함	○ 300만원이하 벌금, 100만원이하의 과태료 부과

<악취방지법 최근 주요 규제강화 내용>

조문	주요 규제내용	처벌
약취관리지역 지정요건 완화 * 제6조, 제10조 및 제11조	○ 약취관리지역은 시·도지사 또는 대도시의 장이 지정하거나 민원이 1년 이상 지속시 지정 - 지정 이후 1회 이상 허용기준을 초과하면 약취관리지역 지정 가능	개선명령(1차~3차) →조업정지명령(4차)
시료자동채취장치 도입 *제17조(국회계류)	○ 순간포집기 등을 설치하여 관리강화	개선명령(1차~3차)→ 조업정지명령(4차)

(3) 양돈장의 약취는 농가 형태(무창, 유창, 슬러리, 톱밥돈사 등) 및 분뇨처리시설(퇴비, 액비, 정화 등)에 따라 다양한 분뇨처리 방법이 존재하므로 시설별, 처리방법별로 맞춤형 정책이 필요함

- 슬러리 및 스크레퍼 돈사의 경우 분뇨를 피트내 장기간 저장함으로서 약취 민원 발생 원인으로 작용하고, 액비화 공정에 있어서도 약취 민원으로 돈분뇨 폭기를 하지 못하고 단순 저장시켜 통성·혐기성 소화를 거치거나 농업기술센터에서 지원해 주는 환경개선제를 표면에 뿌려 일시적으로 표면 약취만 감소시킬 뿐 하부의 혐기성 상태를 개선시켜주지 못하고 있음



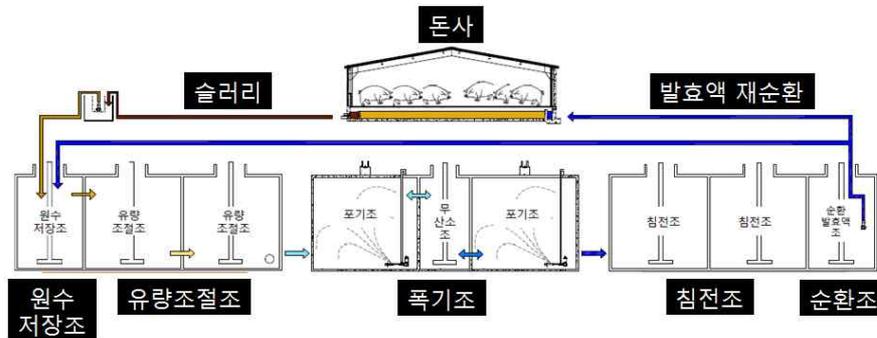
- 한편, 정부에서는 최근 축산단지 및 사육밀집 지역에서의 약취를 종합적으로 해결하기 위해서 기존의 개별농가 단위 지원을 광역(마을, 읍, 면) 단위로 액비순환시스템, 바이오커튼, 바이오필터, 퇴액비화 시설 밀폐 등을 패키지로 지원하고 있음
- 또한, 슬러리 돈사 피트 바닥에 두껍게 형성된 부패성 고착 슬러지를 공동자원화 사업장에서 제거한 후 주기적으로 신속 수거하는 사업을 추진하고 있는 중임

(4) 근래 양돈장 약취를 근원적으로 저감하고 생산성 향상 효과도 동반하는 액비순환시스템에 대한 농가의 관심이 집중되고 있음

- 양돈장 약취 저감 방법 중 하나로 사육과정에서 발생하는 슬러리 분뇨를 액비화 한 후, 그 액비를 돈사 하부의 슬러리포트로 연속적인 재순환 하는 방식으로 호기적 처리과정을 거쳐 호기성 미생물이 충분한 처리수를 피트슬러리로 재유입 함으로써 슬러리 중 용존 약취잠재물질의 농도를 낮춰 약취를 저감하는 효과와 동시에 발생된 슬러리 분뇨의 후처리공정에서 부담을 완화시켜주는 방법임
- 액비순환시스템을 적용하게 되면 슬러리 피트에 호기성 미생물로 우점화된 액비가 분뇨

침전물의 혐기발효를 억제하여 양돈장 전체 악취발생을 크게 줄일 수 있음

- 슬러리 피트내 BOD 수치 감소 및 악취저감 효과를 통해 폐사율 감소, 출하일수 단축, 시설 유지비용 절감 등의 부수적 효과를 거둘 수 있음(한국환경공단 악취관리센터, 2014)
- 액비순환시스템 운영을 통해 자돈육성율의 향상, 분만율 향상, 돈사내부 파리 급감, 돼지 활력도 및 증체 향상으로 출하시기 단축 등의 생산성 향상을 보이고, 일정한 수온(25~30℃)을 유지하면서 돈사내 온·습도를 유지하는 효과를 보여 돈사내 환경개선으로 인한 생산성 증대에 기여할 수 있음(농림부와 농협중앙회, 가축분뇨 처리기술, 2011)



< 국내 액비순환시스템의 일반적 개요 >

- (5) 일부 농가에서 액비순환시스템의 부적절한 설치, 가동, 운용 미숙으로 인한 부작용을 겪고 있음
- 양돈 분뇨는 질소 농도가 높아 생물학적처리가 어려우므로 악취가 없이 부숙된 정상 액비를 돈사내부로 순환시키기 위해서는 완벽한 액비 제조기술이 필요한데도 일부 양돈농가에서는 양돈 분뇨를 폭기하여 갈색의 색도와 냄새가 일시적으로 나지 않는 속성액비를 돈사로 액비를 순환함으로써 유해가스 및 악취가 발생하여 돼지들의 폐사를 일으킴
 - 액비순환시스템 운영 시 발생될 수 있는 문제점은 다음과 같음
 - 액비 공정 시 슬러리를 고액분리하지 않거나 스크린을 이용하여 일부 거친 이물질만 제거한 후 폭기조로 유입되어 발효 시 과부하로 인해 거품이 발생
 - 충분히 부숙되지 않은 액비가 돈사로 순환됨으로써 돈사내 악취가 발생되고, 폐사율이 증가하면서 농장 생산성이 낮아질 수 있음



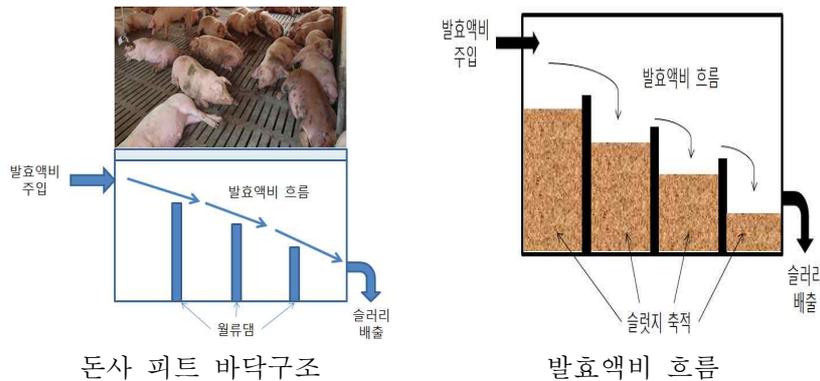
폭기조 거품 발생



발효조 스크 형성

< 액비순환시스템에서 불완전 고액분리 처리로 인한 거품 및 스크 형성 >

- 액비 공정이 단계별로 명확하게 구분되지 않아 액비화시에 미생물 활성이 감소되어 미부숙 액비가 생산될 수 있음
- 액비순환시스템 적용 돈사 피트 바닥구조가 계단식일 경우 액비가 흐르지 못하는 사각 지대에 슬러지와 같은 침점물이 축적될 수 있어 액비재순환에 의한 악취 저감 효과가 반감될 수 있음



돈사 피트 바닥구조

발효액비 흐름

< 액비재순환시스템 돈사 피트 바닥구조에 의한 문제점 >

나. 연구의 필요성

- (1) 정부차원의 액비순환시스템 확대 보급을 위해서는 액비순환시스템 시설 설치 및 관리조건을 확립하고 운용에 필요한 기술을 알기 쉽게 매뉴얼화 하여 제공할 필요성 대두
 - 액비순환시스템 적용을 위한 기본 시설 설치 조건, 원활한 액비 순환을 위한 액비 제조 및 순환기술을 확립한 다음 농가가 알기 쉽게 운용할 수 있도록 매뉴얼을 제작하여 보급
 - 돈사 액비 적정 순환량 및 표준 배출 방법, 순환수 농도에 따른 공급조절 방안
 - 악취없는 액비 제조 기술, 시설 운전관리 및 점검 요령 등

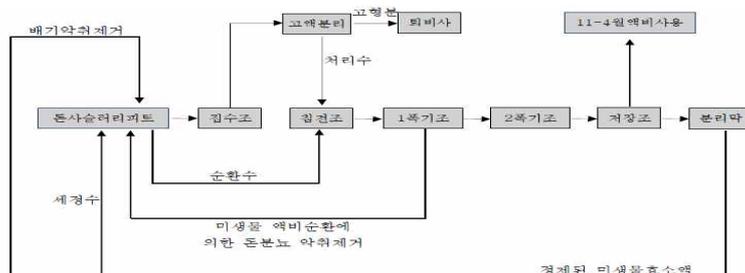
- 농장 유형별(일관비육, 비육전문, 모돈번식전문) 액비순환시스템 설치 조건 제시
- 기존에 보급된 액비순환시스템의 현장 운용사례를 조사·분석하고 문제점에 대한 개선방안 제시
- (2) 액비순환시스템에 대한 객관적 판단 기준을 농가에 제공하기 위해서는 악취저감 등 환경 개선 효과, 생산성 향상 효과 및 설치비용 대비 효과성 입증에 위한 과학적인 자료가 필요
- 슬러리 돈사 대비 액비순환돈사의 악취, 분진 발생 등 사육환경 개선효과를 제시하고 액비순환시스템 적용에 의한 생산성 향상 효과 및 개보수 및 신축에 따른 비용편익 분석결과를 정부 및 농가에 제공
- 챔버 기술을 적용한 피트 슬러리, 피트 침전물 신속제거, 액비순환시스템 적용 농장간 슬러리 중 용존 잠재 악취물질 및 악취 발생량 비교
- 관행 슬러리돈사 대비 액비순환시스템의 생산성(농장 사료섭취량, 사료효율, PSY, MSY 등) 비교
- 돈사 개보수 및 신축 비용 대비 수익성을 평가하여 비용편익 및 NPV(순현재가치) 분석
- (3) 현행 액비순환시스템에 ICT, IOT 등을 적용하여 돈사 외부로 배출되는 악취 농도를 최소화하는 기술 개발을 통해 액비순환시스템의 신뢰도 향상 필요
- 배기 뎀을 통해 돈사밖으로 유출되는 악취를 돈사내 제어하는 기술 개발

1-2. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술수준 및 시장 현황

(1) 기술 수준

- 액비순환시스템에서의 액비화는 유입 원수를 단순히 폭기 처리하는 것이 아니라 생물학적 처리공정인 활성슬러지법을 모방하고 있으며 액비순환시스템에 대한 몇몇 연구 보고서 및 문헌에서 제시하는 시스템 운전 권고안을 살펴보면 첫째 액비화 반응조로 유입되는 슬러리분뇨를 반드시 고액분리 할 것 둘째, 액비화 반응조의 슬러리 분뇨 유입을 과다 증가시키지 말 것 셋째, 산기관 및 산기장치를 매일점검하고 이상 유무를 확인할 것 등이 있음
- 주관기관에서는 액비순환시스템 공정을 설비할 때 아래 공정도와 같이 고액분리 후 액비화조로 원수를 유입하고 있으며 고액분리는 스크린과 데칸타를 병행하여 설치하고 있음. 산기장치는 큰 고효율 산기관을 설치하되, 피로 반복하중에 의한 파손에 강한 제품을 설치하고 있음



< 액비순환시스템 공정도 >

- 또한 일정량의 순환량을 정해 폭기조로 유입되고 돈사내부로 순환시는 등의 액비순환 기본 시설 설치 조건을 개발하여 문헌 및 선행 연구 보고서에서 제시하는 액비순환시스템 운전 권고안의 내용을 모두 충족시키고 있음

< 액비순환 기본시설 설치 조건 >

구분	구조 및 규격
고액분리	<ul style="list-style-type: none"> . 스크린과 데칸타를 병행 설치하여 피트 슬러리 전처리함 . 순환수는 고형분이 적으므로 침전조를 거쳐 폭기조로 자연낙하 유입하도록 함 . 집수조 크기는 슬러리피트 용량을 30(배출주기)으로 나눈 값에 안전율 20%를 더한 값으로 설정 . 침전조의 크기는 일일 발생량에 순환수량 10Q를 더하고 HRT 6시간 기준으로 설치
1 폭기조	<ul style="list-style-type: none"> . 송풍기는 간헐폭기를 위한 루즈브로와와 장기폭기를 위한 터보브로와를 병행 설치 . 산기장치는 산소전달율이 큰 고효율 산기관을 설치하되, 피로반복하중에 의한 파손에 강한 제품을 설치 . 유기물질이나 악취물질을 생물학적으로 분해할 수 있도록 액비화조 유효용량 1m²당 0.03m³ air/분 이상의 송풍기를 설치 . 폭기조의 크기는 일일 발생량에 고액분리 고형분 5%를 제외한 량에 HRT 30일 이상 되도록 설치 . 폭기조 후단의 BOD의 농도를 1000PPM이하로 낮추어 유해가스를 제거한 후 돈방으로 액비순환 . 고액분리후 유입되는 분뇨와 액비 순환수는 가급적 매일 균등 투입하여 충격부하를 방지함
2 폭기조	<ul style="list-style-type: none"> . 폭기조의 크기는 일일 발생량에 고액분리 고형분 5%를 제외한 량에 HRT 5일 이상 되도록 설치 . BOD의 농도를 500PPM으로 낮추어 액비저장조로 보냄
N/F처리 분리막 장치	<ul style="list-style-type: none"> . RDM(Rotary Disk Membrane) N/F를 설치하여 자가세정 기능을 갖추 . 분리막 교체주기(3-4년)를 길게 하기 위해 비 가동시에는 무수구연산 용해액(pH4-5)을 N/F 필터가 잠기게 보관 . 가압펌프의 압력은 3-4Kg/cm²로 운전 . N/F 처리수는 세정수와 공기정화 벽체 배기 웬으로 공급

- 또한 일정량의 순환량을 정해 폭기조로 유입되고 돈사내부액비화조로 유입되는양의 조절뿐만 아니라 돈사내부로 순환되는 순환수에 대한 공급량조절 또한 중요하기 때문에 주관기관에서는 돈사 액비 순환기술을 확립하여 순환수 공급방법과 사육단계별 일일 순환량을 정하여 여러 설치농가에서 운영하고 있음

○ 순환수 공급 방법

- 순환수는 매일 각 돈방에 일정량을 공급하고 있으며 공급, 배출 배관에 pH센서를 설치하여 순환수 자동 공급 시스템을 설치 운영함



- . 액비의 pH는 6.8~7이며, 돈사슬러리피트의 돈분뇨의 pH는 8~9임
- . 순환수 배출라인의 pH가 7.5이하일 때 순환수 공급을 중단할 수 있도록 각 돈방별 공급량을 자동조절함

구분	항목	작동	비고
순환수 공급 → 각 돈방	집수조 밸브	CLOSE	
	순환수 공급 펌프	가동	당일 오후부터 익일 아침까지

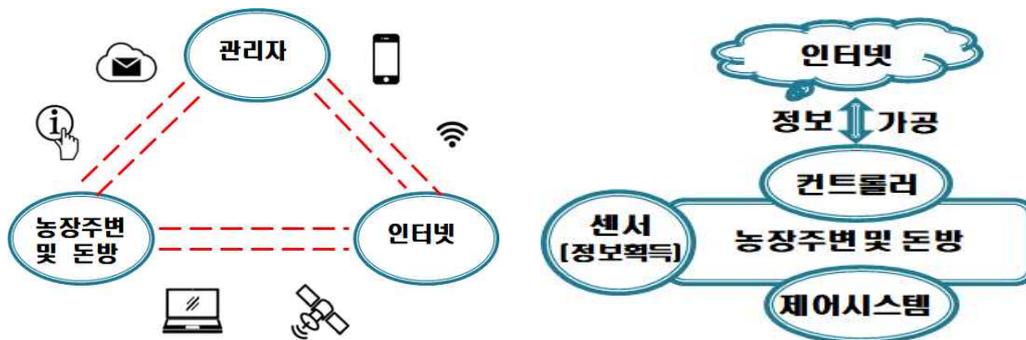
○ 사육 단계별 일일 순환량 설정

(순환량 기준 면적 100m², ℓ/day)

돈사유형	면적/두	분+뇨 (일/두)	세정수 (일/두)	총발생량 (일/두)	순환량	비고
임산(후보돈)사	2.5m ²	5.24	0.95	6.19	2,724	
자돈자	0.59m ²	1.28	0.23	1.51	2,815	
분만사	7.5m ²	7.49	2.87	10.36	1,520	
비육사	0.92m ²	5.41	0.35	5.76	1,887	

○ ICT, IOT 시스템도입 돈사 순환(CASEM) 제어시스템

- 자동화시스템에 의하여 농장관리인의 데스크탑 및 스마트폰에서 원격제어가 가능한 관리 체계로 운영
- 돈사주변 및 순환돈사의 악취가 기준치 이상이면 센서에 의해 자동감지되어 관리자에게 정보가 전달되고, 자동분사에 의한 악취를 제어하며, 돈방의 온도, 습도, 환기 제어도 가능한 시스템 도입

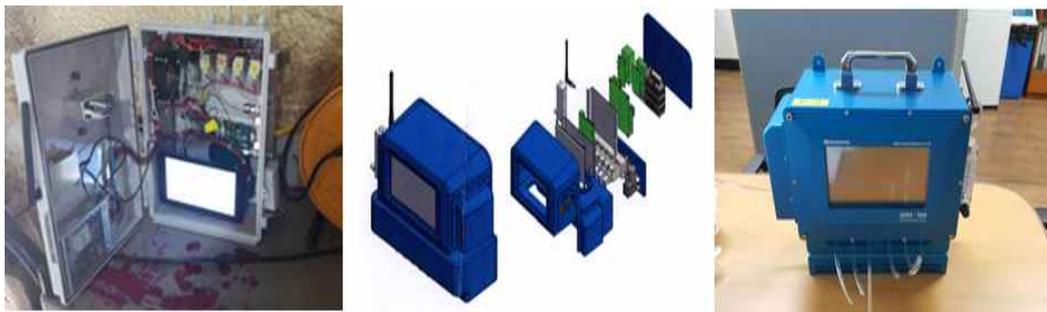


○ 모니터링 시스템

- 사무실에서 전체농장의 모니터링 시스템을 설치하여 농장에서 일어나는 모든상황을 실시간 확인하고 일어날 수 있는 모든 문제를 사전에 예방

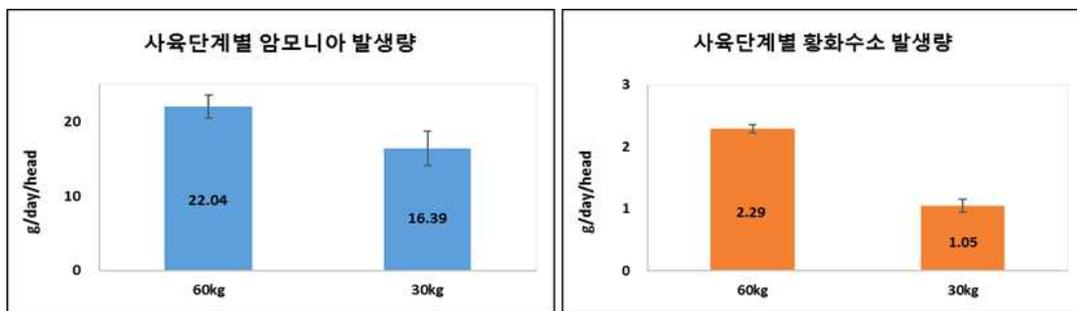


- 기존 액비순환시스템의 개선이 필요한 농가에 주관기관에서 개보수를 통해 개선된 액비순환 시설을 설치하였으며 개선 내역으로는 기존 돈사에 순환수 반출 및 액비순환수 공급 배관을 설치한 것과 정해진량 만큼 자동으로 액비공급을 하기 위해 순환량을 제어하는 자동밸브를 설치하였음
- 또한 기존 송풍기를 교체 및 추가설치 하였으며 기존 폭기조가 돈사 바닥보다 높은 문제점을 해결하고자 간이 집수조를 설치하였음
- 한국축산경제연구원에서는 2017년에 액비순환 돈방과 비순환 돈방의 악취를 측정하였으며 항목으로는 황화수소, 암모니아, 온도, 환기량을 분석함
 - 포토센서를 이용한 환기 측정 장치를 환기팬에 설치하여 환기량을 측정함



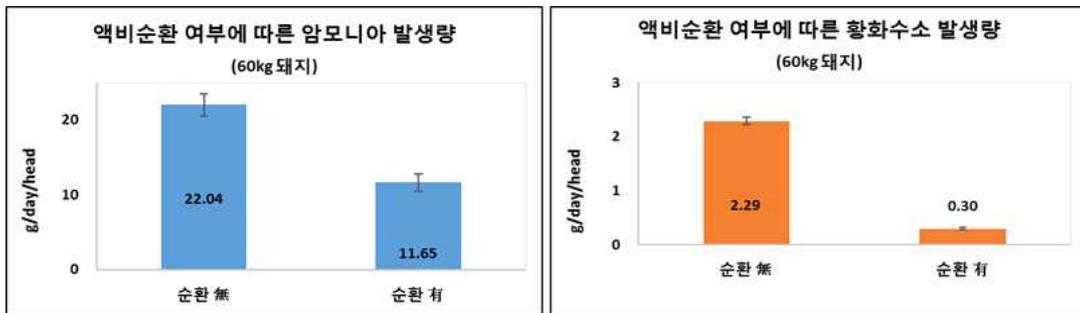
< 악취측정에 사용한 기기 >

<시험결과>



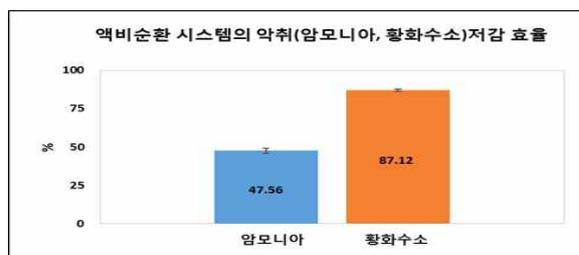
< 육성돈 체중에 따른 암모니아 발생량 >

- 60kg 육성돈과 30kg 육성돈의 일일 암모니아, 황화수소 발생량을 측정하여 사육단계에 따른 발생량을 확인할 수 있었음
- 60kg 육성돈의 두당 일일 암모니아 발생량은 22.04 ± 1.52 g/일/두, 30kg 육성돈의 발생량은 16.39 ± 2.31 g/일/두로 60kg 체중의 육성돈에서 1.3배의 발생량이 발생하였음
- 황화수소의 경우 60kg 육성돈 2.29 ± 0.07 g/일/두, 30kg 육성돈 1.05 ± 2.31 g/일/두가 발생해 60kg 육성돈의 돈방에서 2.2배 높은 황화수소 발생량이 측정되어 사육단계별 악취 발생량을 확인할 수 있었음



< 액비순환 여부에 따른 육성돈 암모니아 발생량 >

- 액비순환 여부에 따라 육성돈방에서 암모니아, 황화수소 발생량의 차이를 파악하고자 측정을 실시하였으며 측정 결과, 액비순환 하지 않은 돈방에서 암모니아 황화수소 각각 22.04 ± 1.52 g/일/두, 2.29 ± 0.07 g/일/두 발생하였고 순환시킨 돈방에서는 11.65 ± 1.12 g/일/두, 0.30 ± 0.03 g/일/두 가 발생하며 순환시킨 돈방에서 암모니아 10.39 g/일/두, 황화수소 1.99 g/일/두 적게 발생하여 액비순환 시스템의 저감효과를 확인할 수 있었음



< 액비순환시스템 악취 저감효율 >

- 액비순환시스템 사용시 육성돈방의 암모니아와 황화수소 각각 47.56%, 87.12%가 저감되었으며 해당 시험농장의 액비조의 액비성상이 1차시험 당시보다 액비화가 더욱 진행된 상태에서 2차 시험을 실시하여 1차시험에 비해 암모니아의 저감율이 더 높아졌으며 액비품질의 향상에 따라 암모니아 저감율은 더욱 높아질 것으로 예상됨

(2) 시장 현황

- 액비순환시스템의 국내 시장 현황에 대한 통계치가 없지만 2016년부터 정부에서 추진하는 광역축산악취 개선사업의 액비순환시스템 신청 개소수를 통해 액비순환시스템에 대한 농가의 관심도 및 시장 잠재성을 추정할 수 있음
- 2016년 광역축산악취개선사업에 선정된 대상농가에서 신청한 축사내부저감기술은 액비순환시스템(42개소), 안개분무(12개소), 돈사 슬러리 청소기기(7개소)로 나타났으며, 축사의 부저감기술은 펜스(12개소), 탈취탑(11개소), 바이오커튼(10개소)로 나타났음

< 2016년 광역축산악취개선사업 대상농가 악취저감시설 신청현황 >

축사내부저감기술		축사외부저감기술		기타 기술	
시설명	신청수	시설명	신청수	시설명	신청수
액비순환시스템	42	펜스	12	퇴비사 밀폐	15
안개분무	12	탈취탑	11	액비저장조	13
돈사 슬러리 청소기기	7	바이오커튼	10	미생물배양기	8
음용수 저감시설	5	이산화염소 발생공급장치	2	고액분리기	15
BM활성수	1	조경수	1	폐사축처리기	7
고농도 유기폐수처리장치	1	바이오필터	1	액비화시설 밀폐	3
		덕트시설	1		
		라디칼분사시스템	1		

※ 조사농가 : 고성(15), 논산(13), 영천(15), 천안(2)

- 2017년 광역축산악취개선사업에 선정된 대상농가에서 신청한 축사내부저감기술은 액비순환시스템(33개소), 미생물배양기(19개소), 안개분무(17개소)로 나타났으며, 축사의 부저감기술은 탈취탑(18개소), 단열겸 외관 페인팅(16개소), 퇴비장 밀폐(15개소)로 나타났음.
- '16년부터 '17년까지 진행한 광역축산악취개선사업에 선정된 대상농가에서 신청한 악취저감시설은 액비순환시스템이 가장 많이 신청하였으며, 축사내부저감기술은 액비순환시스템(69개소), 안개분무(29개소), 음수형 악취저감기(22개소)로 나타났으며, 축사외부저감기술은 탈취탑(28개소), 펜스(12개소), 바이오커튼(10개소)로 나타났음.

< 2017년 광역축산악취개선사업 대상농가 악취저감시설 신청현황 >

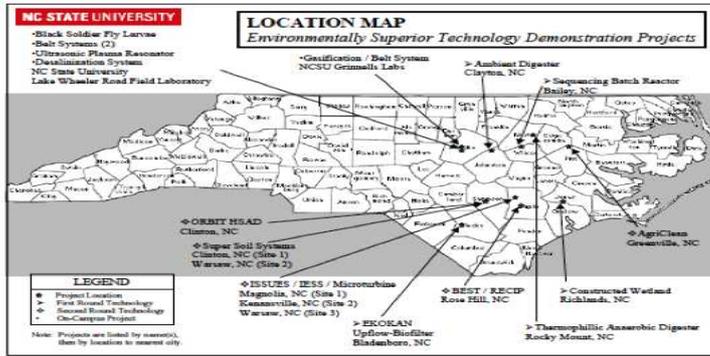
축사내부저감기술		축사외부저감기술		기타 기술	
시설명	신청수	시설명	신청수	시설명	신청수
액비순환시스템	27	탈취탑	17	미생물배양기	19
안개분무	17			폐사축처리기	19
음수형 악취저감기	17			단열겸 외관 .페인팅	16
석회질 정수장치	17			액비저장조	1

※ 조사농가 : 경산(18), 고성(19), 김해(11), 의령(8)

가. 국외 악취저감 기술 현황

○ 기술현황

- 미국의 양돈장 가축분뇨 처리시스템을 위한 ‘환경적 우월한 기술’ (EST; Environmental Superior Technology)의 적용 목적은 가축분뇨를 저장하는 라군을 없애고, 환경부하를 줄이며, 향상된 수질 관리를 위하여 수행되었음
- 가축분뇨처리 혁신에 대한 요구가 미국 양돈생산 랭킹 2위인 North Carolina 주에서 특히 높게 나타났으며 세계 최대 축산물 가공업체인 Smithfield Foods는 ESTs 개발 연구사업에 1천5백만불(환경정화 5천만불) 투자 협정(‘13)을 NC 주정부 맺었음
- 프리미엄 표준 농가(Premium Standard Farms)들은 2백3십만불 ESTs에 투자 협정 체결
- 선진 농가(Frontline Farmers)는 경제적으로 실현가능한 EST 기술을 독려하며 NC 주립대학교 기술을 선별하고 평가하는데 협조함
- 액비재순환시스템과 관련된 대표적인 두 EST 적용 프로젝트로서 Goshen Ridge 프로그램과 Super Soils System이 있는데 고액분리 모듈로부터 COD와 TKN이 35-96% (TKN=35%, P=70%) 수준으로 줄어드는 일관된 결과를 두 프로젝트는 보고하였음
- 양돈장 적용 EST는 피트슬러리의 고액분리, 질산화 및 탈질과정, 슬러리 중 용존 상태의 인산 제거, 고형분 처리 공정들이 가축분뇨 처리를 위한 하나의 시스템으로 구성되어있음
- 미국 농무성 농업연구소(USDA-ARS)에서 개발한 돼지 슬러리 액비순환시스템의 운영 과정 역시, 고액분리, 탈질, 인제거 과정 등이며 탈질된 액비를 돈사 피트로 주입하거나 돈사 배출 슬러리 저장소인 라군(Lagoon)으로 순환시켜 용해된 악취 잠재물질의 농도를 희석과 환경부하 수준을 저감시키는데 있음



< 미국 노스캐롤라이나주 환경적우월기술 적용 프로젝트 >

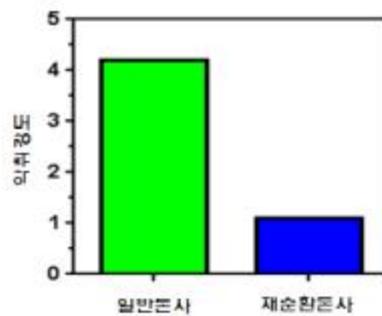


< 축사 피트 슬러리 적용 액비순환시스템 개요(Vanotti et al., 2013)>

- 일반 돈사에 비해 발효액비재순환 돈사 배출수에서 페놀류 및 인돌류가 99.2% 감소되었으며, 악취강도가 75.0% 감소되었음(Vanotti et al., 2008)

< 발효액비재순환 돈사 배출수의 냄새물질 농도 비교 >

구분	액비순환시스템 돈사	일반 돈사
페놀류($\mu\text{g/L}$)	62	7,100
인돌류($\mu\text{g/L}$)	0.4	1,041
총 합	62.4	8,141



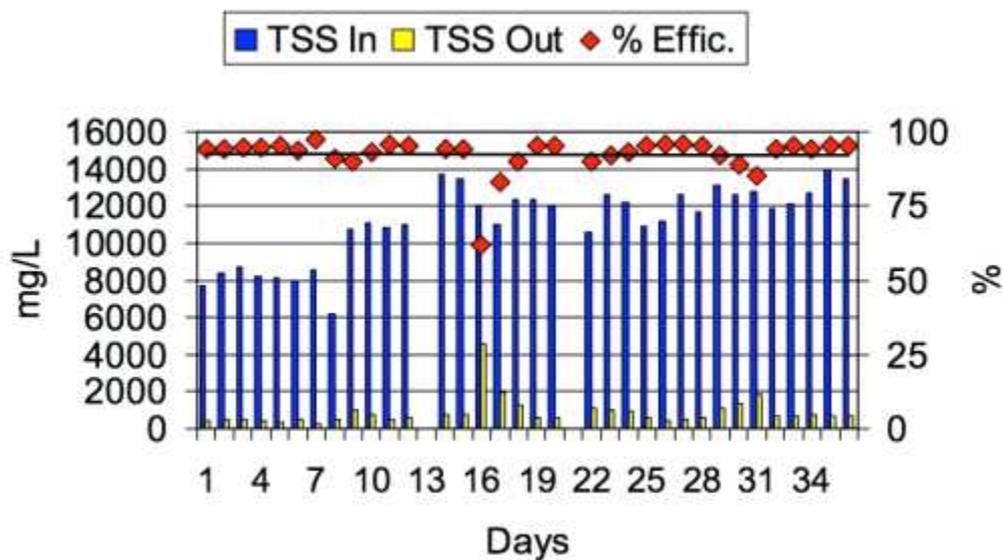
< 액비순환시스템 적용 돈사 배출 슬러리 유래 악취강도 패널테스트 >

- 액비순환시스템 공정별 분뇨 성상, 냄새물질 농도 및 미생물 조사(Loughrin 등, 2006)
- 슬러리 BOD가 고액분리 전(3,132mg/L)에 비해 후(1,078 mg/L)에 65.6% 감소되었음
- 돈사로 재순환되는 발효액비(탈질화 후 발효액비)의 BOD(33 mg/L)는 처리전 슬러리에 비해 98.9% 감소되었음

- 페놀류 및 인들류는 슬러리(201.8 ng/mL)에 비해 발효액비(4.56 ng/mL)에서 97.2% 감소되었음

< 액비재순환시스템 고액분리 탈질화 공정별 슬러리 중 오염물질 농도 변화 >

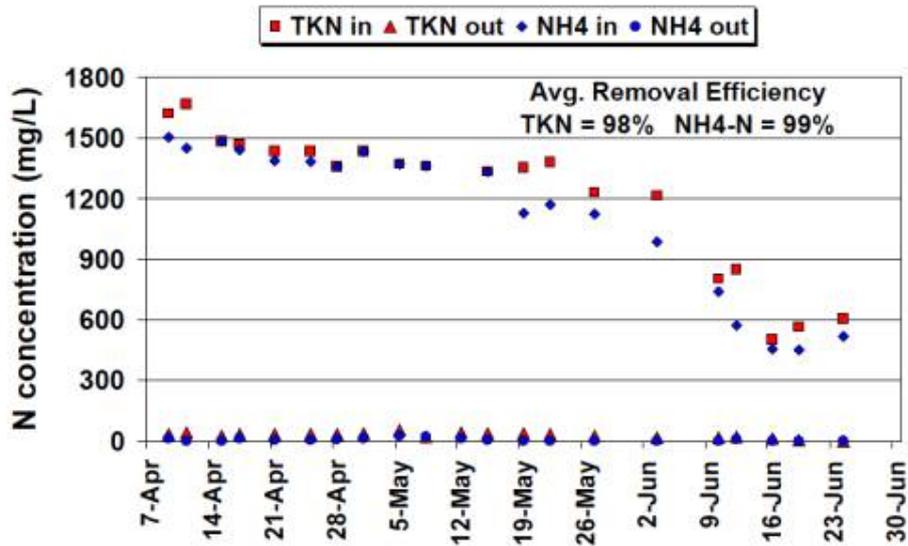
구분	슬러리	고액분리 처리	탈질화 처리
- mg/L -			
BOD	3,132	1,078	33
COD	16,138	3,570	617
TSS	11,051	823	122



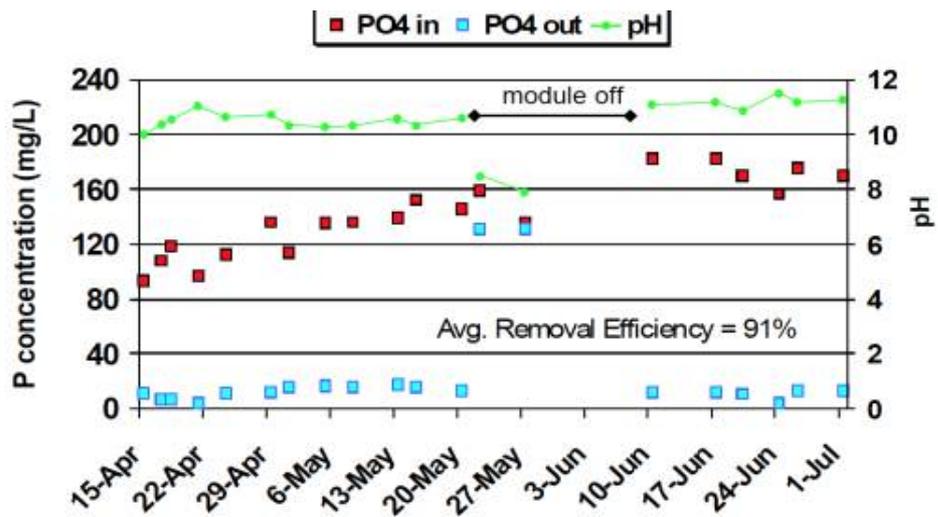
< 액비재순환시스템 고액분리 모듈 공정의 초기 5주간 TSS 제거효율 평가 >

- ‘바이오그린’ 질소 제거 모듈을 이용하여 고형물이 분리된 후의 상대적으로 더 작은 양의 유기부유물을 제거할 수 가 있는데 질산화작용/탈질작용 (nitrification/denitrification)을 이용함
- 상당량의 용존 암모니아와 인산 물질 제거를 위해 생물학적 처리공법인 ‘바이오그린 공정’ (Hitachi Plant Engineering & Construction Co., Tokyo, Japan)을 적용하였음
- 바이오그린 공정은 질산화된 슬러리 가축분뇨가 사전 탈질공정 및 주 탈질공정 순환과 탄소 (COD)를 통해 80% 이상의 질산염을 제거할 수 있음
- 질산화균이 다중 젤 펠릿에 탑재되어 질산화 탱크 중 균주 바이오매스 증가를 유도하는 것이 바이오그린 질소 제거의 핵심 내용임
- 질산화균에 요구되어지는 암모니아와 산소에 투과된 펠릿들은 스크린 구조물에 의해 반응 탱크 안에 계속적으로 남아 질산화균 증가에 도움을 주게 됨
- 고센(Goshen) 프로젝트에 12 m3 규모의 질산화 펠릿이 사용된 바 있으며 바이오그린

질소 제거공정에 의한 TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) 및 TAN (Total ammoniacal nitrogen, $\text{NH}_4\text{-N}$) 제거효율은 그림 X에서와 같이 ~99%까지 고효율의 평가 결과를 얻음



< 액비재순환시스템 고액분리 후 질소 제거 모듈 공정의 3개월 간 효율 평가 결과 >



< 액비재순환시스템 고액분리 후 인 제거 모듈 공정의 3개월 간 효율 평가 결과 >

< 액비재순환시스템 고액분리 탈질화 공정별 슬러리 중 페놀류 및 인돌류 농도 변화 >

구분	슬러리	고액분리 처리	탈질화 처리
- ng/mL -			
페놀류	68.3	72.8	3.65
인돌류	133.5	104.8	0.91
총합	201.8	177.6	4.56

- 미국의 액비순환시스템은 2단계의 고액분리 과정을 거쳐 슬러리에 포함된 침전물을 완전히 제거함

- 로터리 드럼형 고액분리기로 고형물을 분리하고 벨트프레스로 잔여 고형물을 제거함



<2단계 고액분리>



<돈사 피트 바닥구조>

< 미국의 액비순환시스템 관리방법 >

- 액비순환시스템 공정별 각 단계에서 완전히 처리된 슬러리가 이송되도록 함으로써 제조 공정 시 발생될 수 있는 문제점을 최소화 함
 - 슬러리 내 미생물의 활성을 유지하고 탈질과정의 과부하를 방지함으로써 충분히 부숙되어 악취가 적은 액비가 순환될 수 있도록 함
- 액비순환시스템 농장을 포함한 미국 양돈장의 돈사 피트 바닥은 경사진 구조로 슬러지가 축적되지 않고 대부분의 슬러리가 배출될 수 있는 구조임
 - 돈사 피트 바닥에 슬러지의 축적이 적어서 발효액비 제조공정에 슬러지 주입을 줄여 발효액비 제조 시의 과부하를 방지하고 돈사 내부 악취를 줄일 수 있음

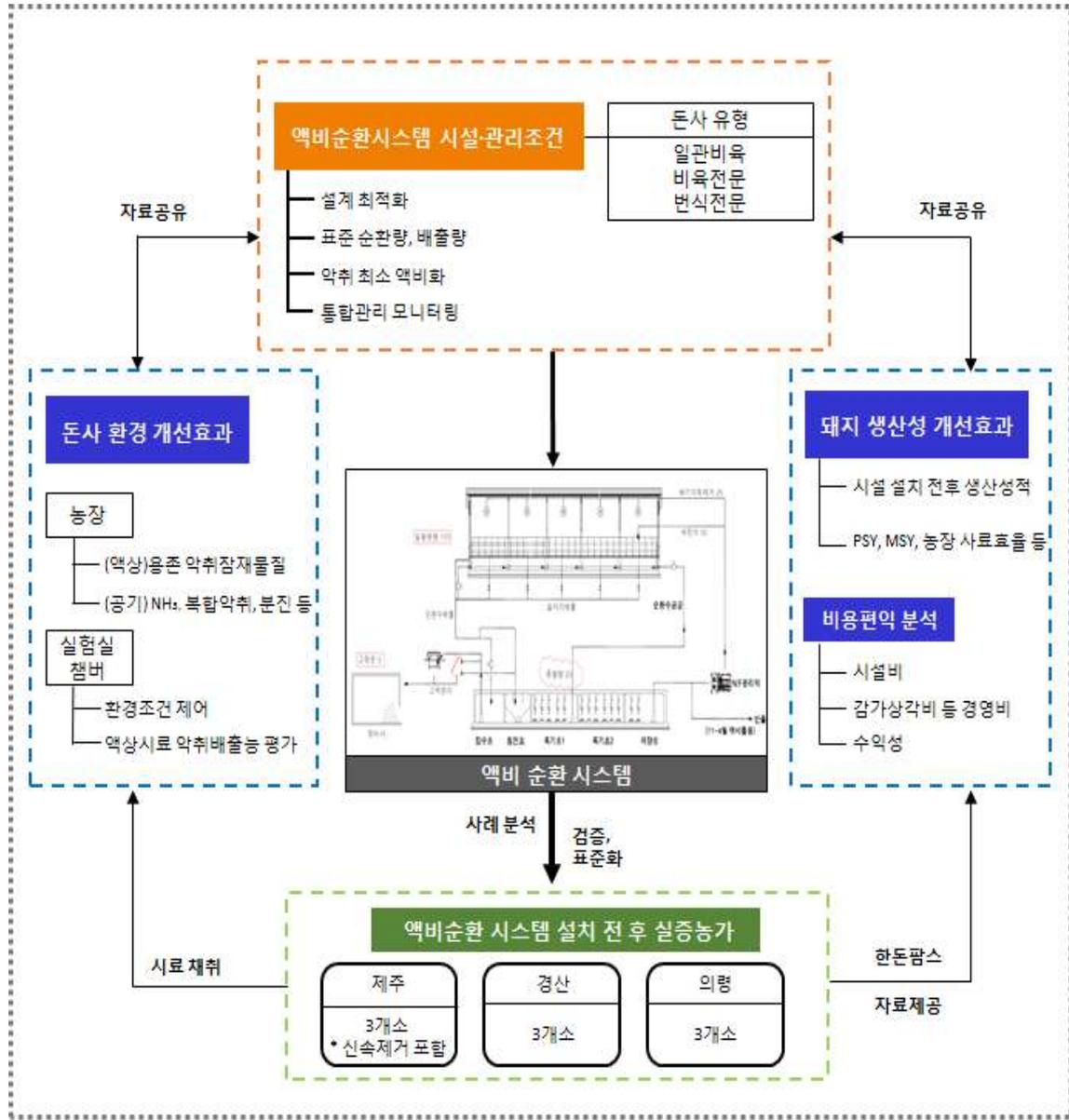
2. 연구개발의 목표 및 내용

2-1. 연구개발의 최종목표

		코드번호	B-05-01
구분	내용		
최종목표	<p><양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립></p> <ul style="list-style-type: none"> - 양돈장 액비순환 기본 시설 설치 조건 확립 및 관리를 위한 기술 개선 및 순환시스템 도입 <p><돈사 액비 순환기술 매뉴얼화></p> <ul style="list-style-type: none"> - 액비순환기술의 운전·유지관리를 위한 기준 마련 및 매뉴얼 제작 <p><분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가></p> <ul style="list-style-type: none"> - 분뇨처리 방식별 주요 악취물질 배출량 평가를 통한 악취저감 효능 평가 및 비교 <p><분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가></p> <ul style="list-style-type: none"> - 분뇨처리 방식별 농가 생산성 개선 효과 비교 및 비용/편익 분석을 통한 경제성 비교 		
세부목표	<p><양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립></p> <ul style="list-style-type: none"> - 액비순환 기본 시설 설치 조건 확립 - 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계 - 양돈장 액비생산기술 확립 및 유지관리방안 제시 - 돈사유형별(일관비육, 비육전문, 번식전문) 구분 제시 <p><돈사 액비 순환기술 매뉴얼화></p> <ul style="list-style-type: none"> - 액비순환을 위한 액비 상태 기준 설정 - 슬러리피트, 액비순환장치 등에 대한 필수 설치 요소 파악 - 액비순환시스템 관리를 위한 점검 방안(시설설치에 따른 점검방법, 액비 점검방법)마련 - 액비순환시스템 규모, 사양단계별 설치 및 운용비용 산정 <p><분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가></p> <ul style="list-style-type: none"> - 양돈장 악취발생 정밀 조사, 주요 악취 물질 배출 수준 평가 - 분뇨처리 방식에 따라 NH3, H2S, 분진을 측정하여 악취감소에 효과적인 분뇨처리방식 평가 - 환경조건이 제어되는 챔버시스템을 활용하여 액상시료 악취배출능 평가 <p><분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가></p> <ul style="list-style-type: none"> - 악취저감 및 환경개선을 통한 생산성 향상 사례를 조사하여 악취발생과 생산성과의 상관성 파악 - 분뇨처리방식별 PSY, MSY, 농장 사료요구율, 폐사율 등의 생산성 평가 비교 - 분뇨처리방식별 비용편익분석을 통해 경제적인 분뇨처리방식 모델 제시 		

※ 참고

연구개발 목표달성을 위한 연구사업 추진체계



액비 순환시스템 설치·관리 메뉴얼

2-2. 연차별 개발목표 및 내용

가. 1차년도

(1) 개발 목표

주관연구기관(에코바이론) : <양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립>

(가) 양돈장 분뇨처리시설 현황조사

- 국내 액비순환시설설치, 정화방류시설설치, 일반처리시설 설치농가 조사

(나) 양돈장 분뇨처리시설 문제점 파악

- 국내 분뇨처리시설 설치농가 악취발생 문제점 도출

(다) 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계

제1협동연구기관(축산환경관리원) : <돈사 액비 순환기술 매뉴얼화>

(가) 액비순환 기술의 국내·외 사례조사

- 문헌조사를 통한 국내·외 사례 파악(장·단점)

- 사례 조사하여 개별시설에 대한 차별성 제

* 실시간 악취측정 농가(ICT 기술 적용 50농가) 중 액비순환시스템 운영 농가를 대상으로 우수 악취저감 사례 농가 선별 후 관련 기술 분석(기술별 특징 분석)

(나) 액비순환 기술의 돼지 사양단계별 구분

- 돼지 사양단계별(자돈, 비육돈, 모돈)로 맞춤형 기술 제시

(다) 액비순환 기술 적용에 따른 환경적 요인 파악

- 제2협동기관의 돈사 내 온도, 습도, pH등의 결과를 적용하여 환경적 요인 파악

- 돈사 외부의 장비 유지·관리에 따른 환경적 요인 파악

* 광역축산악취개선사업 참여 양돈농가 대상(50농가*) 시설별 실시간 악취발생 현황 분석(돈사 내부 및 분뇨처리장 악취센서(반도체식 센서) 설치) 후 특징(환경요인 상관관계) 및 문제점 도출

* 축산환경관리원 '17년 'ICT활용 축산악취모니터링 시스템' 구축·운영('18년 89개소 설치완료)

* 센서를 활용하여 실시간 악취발생현황을 수집(50농가)하고, 규모별 농가(4개소)를 선정하여 관능법으로 악취 측정 후 결과 분석 추진

제2협동연구기관(전주대학교) : <분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가>

(가) 양돈장 무처리 피트슬러리 중 용존 악취 잠재물질 농도와 악취발생 요인 간 연관성 연구

- 시험돈사 : 악취저감 실증 양돈장(3개지역별 3개소) 9개 돈사 중 무처리 3개 돈사, 피트 침전물 신속처리 3개 돈사(6개 양돈장)

- 처리구 및 공정단계별 악취 저감 효과 평가 (1차년도 해당: ○)

피트 침전물 신속 위생처리	액비순환 시스템 미적용	액비순환시스템 적용(피트 침전물 신속 위생처리 별 5개 처리구): 고형물분리 처리(2) 및 공정단계(3)				
		고형슬러지 분리	미세고형물 분리	폭기조1	폭기조2	분리막
적용	○					
비적용	○					

- 시험방법

- 양돈장 축사 피트 침전물 신속처리 운영에 따른 슬러리 중 용존 잡재 악취물질 : BOD, COD, SS, TAN, TKN 등 분석
- 대상 악취 : 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 분진(PM_{2.5}/10/Coarse(10-2.5), 복합악취(공기희석 관능법)
 - * NH₃ 분석은 INNOVA1412i 이용 연속 분석법 적용, H₂S는 가스텍 검지관을 이용 평가함을 원칙으로 함
- 필터법 이용한 분진 분석: SKC사 PMIs (SKC, 863 Valley View Road, Eighty Four, PA 15330 USA)를 이용하여 PM_{2.5}와 PM₁₀ PM Coarse(10-2.5) 사이즈 별 분석
- 레이저 에어로졸 스펙트로미터(Mini-LAS, 11-E, GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH & Co. KG, Dorfstr. 9, 83404 Ainring, Germany)는 레이저 광회절 분석법을 적용하여 0.25~32 μm 사이즈의 분진을 31개의 개별 사이즈 채널로 정량할 수 있음
- 데이터 저장 및 변환 기능을 통해 PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ 수준까지 입자 분배정량을 실시간으로 통신 장치로 송부가 가능
- 양돈장 축사 내 분진 측정 기기 a) 레이저 광회절 분석법을 이용한 그림사 분진 모니터기, b) 필터법 이용 SKC PMIs 분진 측정장치

a)



<GRIMM사 Dust Monitor 11-E>

b)



<SKC PMIs>

- 조사항목

- 농가전체 및 시험돈사 현황 : 사육현황, 돈사구조, 분뇨발생량, 분뇨처리량, 분뇨 침전물 신속처리 방법
- 양돈장 축사 내 피트 슬러리 pH, 온도, 습도, 환기량 등을 조사함

제3협동연구기관(한국축산경제연구원) : <양돈분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가>

- (가) 실증 농가 선정 : 3개 지역(제주, 경산, 의령)별 양돈장 3개소
- (나) 국내외 악취저감 및 환경개선을 통한 생산성 향상 사례 조사
- (다) 액비 순환시스템 설치 전·후 실증농가 생산성적 자료 조사(한돈팜스 활용)
- (라) 액비 순환시스템 설치 전·후 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율 등을 조사하여 생산성 개선 효과 비교

- * 사양전공 연구책임자에 의한 생산성 개선효과 검증 실시
- * 분뇨처리방법 및 시설의 효과를 제외한 모든 동일한 조건에서 생산성 검증시험 실시

(2) 개발 내용 및 범위

주관연구기관(에코바이튼) :

양돈장 분뇨처리시설 현황조사 및 문제점 파악에 따른 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계		
국내·외 분뇨처리시설 현황조사	국내 분뇨처리시설 설치농가 악취 발생 문제점 도출	양돈장 액비순환 설계조건 연구
↓		
<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사를 통한 국내·외 분뇨처리시설 현황조사 - 국내 액비순환시설 설치농가 현황 조사 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 분뇨처리시설의 문제점 도출 - 정상적인 운영이 되지 않고 있는 액비순환시스템 적용 농가 문제점 도출 	<ul style="list-style-type: none"> - 액비순환기술 공정별 기본사양 설계 - 액비 순환기술 표준 공정도 제시

제1협동연구기관(축산환경관리원) :

돈사액비순환기술 매뉴얼화		
액비순환 기술의 국내·외 사례조사	액비순환기술의 돼지 성장단계별 분리	액비순환 기술 적용에 따른 환경적 요인 파악
↓		
-문헌조사를 통한 액비순환 기술 현황 및 적용 사례 조사	- 돼지 성장단계별 액비순환기술의 적용	- 액비순환기술 적용시 돈사 내·외 부 환경적 요인 파악

제2협동연구기관(전주대학교) :

양돈장 무처리 피트슬러리 중 용존 악취 잠재물질 농도와 악취발생 요인 간 연관성 연구		
양돈장 무처리 피트슬러리의 특성 조사	양돈장 피트 중 침전물 신속처리에 따른 특성 조사	분뇨 침전물 신속처리에 따른 양돈장 피트 슬러리 유래 악취 발생 특성 조사
<ul style="list-style-type: none"> · 국내외 양돈장 피트 슬러리 관련 문헌조사 · 국내 양돈장 무처리 피트 슬러리 특성 분석 · 무처리 피트 슬러리 중 용존 악취 잠재물질 농도 분석 	<ul style="list-style-type: none"> · 양돈장 분뇨 침전물 신속처리에 따른 피트 슬러리 특성 분석: 피트 내 슬러지 축적 분포 등 · 피트 내 가축 분뇨 신속 위생처리에 따른 피트 슬러리 중 용존 악취 잠재물질 농도 분석 	<ul style="list-style-type: none"> · 피트 내 가축분뇨 신속처리 유무별 용존 잠재 악취물질 특성 평가 · 축사 별 가축분뇨 신속처리에 따른 악취 저감 특성 평가
↓		
양돈장 가축분뇨 침전물 신속처리 등 축사 운영 관리에 따른 악취발생 평가		

제3협동연구기관(한국축산경제연구원) :

분뇨처리 방식별 생산성 개선효과 비교	
문헌조사	비교대상 농가 선정
<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 악취저감 및 환경개선에 따른 생산성 향상 사례조사 - 슬러리피트에서 발생하는 암모니아, 황화수소 농도가 생산성에 미치는 영향 조사 - 생산성 지표 조사 (한돈팜스 자료조사) 	<ul style="list-style-type: none"> - 피트 침전물 제거방식 / 액비재순환방식 / 관행 슬러리 돈사방식 * 비교대상농가별 3개소씩 선별



분뇨처리방법별 생산성 개선효과 비교
<ul style="list-style-type: none"> - 선정된 비교대상 농가에서 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율 등 조사



분뇨처리방법별 조사
<ul style="list-style-type: none"> - 분뇨처리방법별(방법1) 양돈 생산성 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 조사분석된 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율 등을 통한 생산성 평가 • 분뇨처리방법 적용 전·후 한돈팜스 농가성적 비교를 통한 생산성 평가 - 양돈분뇨처리방식(피트내 침전물 제거)적용 전·후에 따른 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율을 조사하여 생산성 개선효과 비교 <ul style="list-style-type: none"> • 피트 침전물 제거시 돈사내 악취감소가 생산성에 미치는 영향 평가

나. 2차년도

(1) 개발 목표

주관연구기관(에코바이론) :

(가) 양돈장 액비제조기술 보완 및 적용의 안정성 및 편리성 구축

- 양돈장 액비제조기술 현황 조사
- 양돈장 액비제조기술 문제점 도출 및 유지관리방안 제시
- 악취발생이 적은 액비제조기술 도입, 보급 및 활용방안 제시

(나) 돈사 액비순환 설계기술 적용

- 기존시설 개. 보수 방안 적용
- 돈사 유형에 따른 돈사 순환시스템 적용
- 액비순환시설 설치 개선사례 조사
- 돈사 액비 순환수 공급 표준 방법 적용
- 슬러리 돈사의 배출에 관한 표준 방법 적용

(다) 양돈장 악취관리 시스템 적용

- 배기 웬 악취에 따른 악취저감 방안 제시
- 액비 순환수 농도에 따른 공급조절 방안 제시
- IOT시스템 도입을 통해 공급, 배출 배관에 공급 시스템 조기경보 시스템을 설치 운영함
- * IOT 시스템 : pH센서를 통해 일정 범위 밖 pH 값에 대한 조기경보시스템

제1협동연구기관(축산환경관리원) :

(가) 액비순환 필수 기술 기준 마련

- 우수 액비순환시스템 운영 농가(4개소) 운영현황 점검 및 분석(1년 이상 운영 시 문제점 및 주의사항 도출)
- * 액비순환을 위한 액비 상태 기준 설정(액비 성분 분석 후 부숙도 및 질소, 인 기준 제시)
- * 슬러리피트 액비순환을 위한 필수 설치 요소 기준 파악(슬러리 피트 구조 분석)
- * 집수조 등 분뇨처리장에 필수 설치 요소 기준(고액분리상태, 산기관 특징 등 점검)
- * 돈사 외부에 액비순환을 위한 이송 장치 등에 대한 필수 설치 요소 파악

제2협동연구기관(전주대학교) :

(가) 액비순환시스템 적용 양돈장 슬러리에 대한 챔버기술을 적용한 환경조곤 제어 악취 배출 계수 기반 평가

- 시험돈사 : 액비순환시스템 적용 농가 3개 양돈장
- 처리구 및 공정단계별 샘플 혼합액(3개 양돈장 각 10개 샘플)을 통한 악취저감 효과 평가
- * 액비 플러싱 양 및 기존 피트 슬러리와 주입량 비율을 계산하여 농가와 협의하여 추진함

☞ 시험농장의 돈사 피트면적과 가용 액비량을 고려하여 평가 대상 샘플 재설정할 수 있음

	액비순환시스템 적용(피트 침전물 신속 위생처리 별 5개 처리구): 고형물분리 처리(2) 및 공정단계(3)				
	고형슬러지 분리	미세고형물 분리	폭기조1	폭기조2	분리막
챔버기술 적용	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1
피트슬러지 처리수	90%	90%	90%	90%	90%
혼합 비율, 처리수/혼합액*100	7:3	7:3	7:3	7:3	7:3
	70%	70%	70%	70%	70%

- 시험방법

- 양돈장 피트 슬러리의 특성을 고려하여 처리별 슬러리를 채취한 후 실험실에서 슬러지 중 용존잡재악취 물질과 챔버기술을 적용한 암모니아 배출계수를 통해 악취 평가를 수행함
- 액비순환시스템 적용 양돈장 축사 고형물분리 처리 및 공정단계별 30개 시험샘플에 대한 용존 잡재 악취물질 : BOD, COD, SS, TAN, TKN 등 분석
- 대상 악취 : 암모니아(NH₃)

* NH₃ 분석은 INNOVA1412i 이용 연속 분석법 적용을 원칙으로 함

- 조사항목

- 농가전체 및 시험돈사 현황 : 사육현황, 돈사구조, 분뇨발생량, 분뇨처리량, 액비순환시스템 각 공정별 운영 현황
- 양돈장 축사 내 피트 슬러리 pH, 온도, 습도, 환기량 등을 조사함

제3협동연구기관(한국축산경제연구원) :

(가) 양돈분뇨처리 방법(액비재순환)적용 전·후 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율을 조사하여 생산성 개선효과 비교

- 액비순환방식 적용시 돈사내 악취감소 및 분뇨성상 변화가 생산성에 미치는 영향 평가

(나) 양돈분뇨처리 방법(관행 슬리돈사)에 따른 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율을 조사하여 생산성 비교

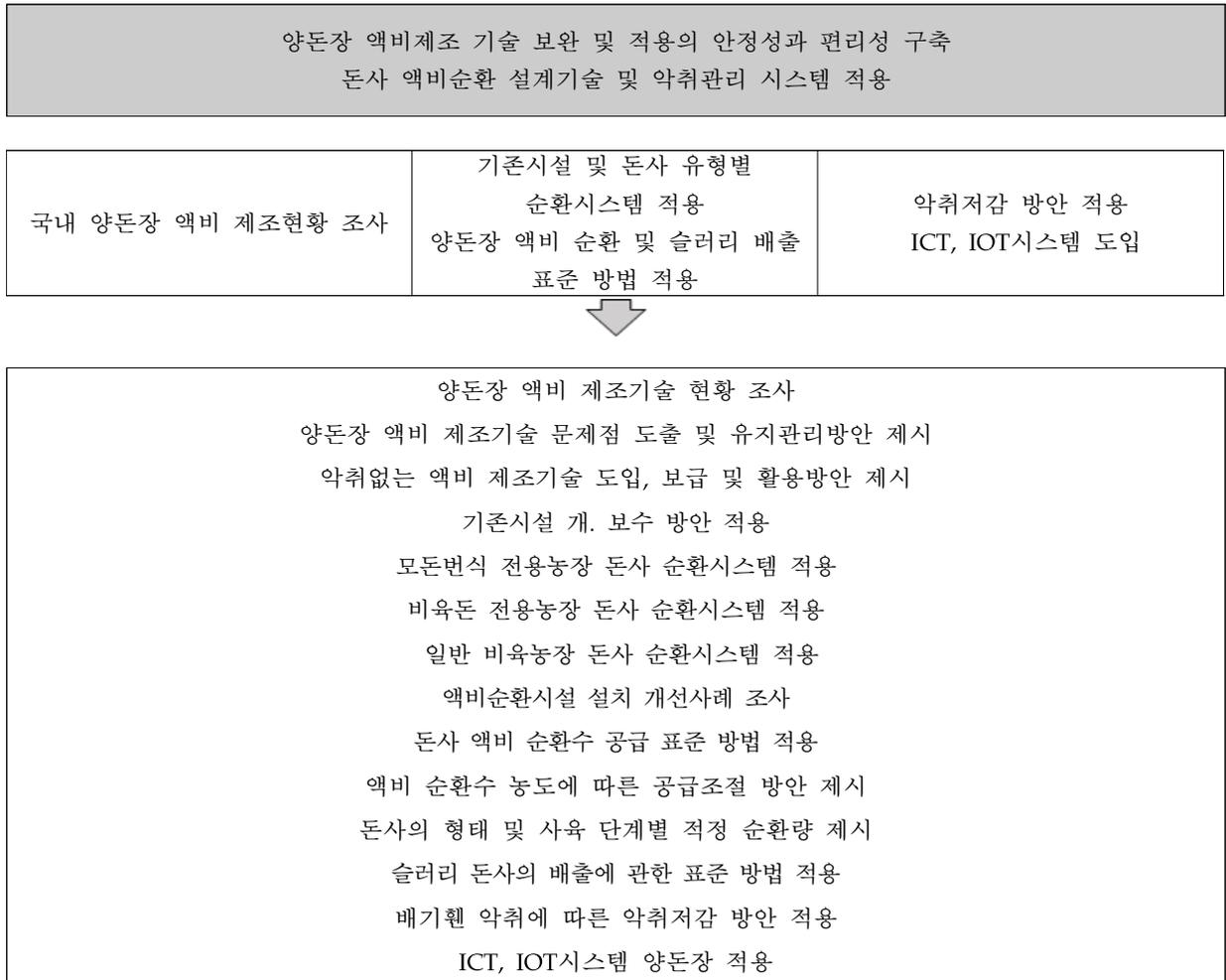
- 돈사내 악취농도가 생산성에 미치는 영향 평가

* 사양전공 연구책임자에 의한 생산성 개선효과 검증 실시

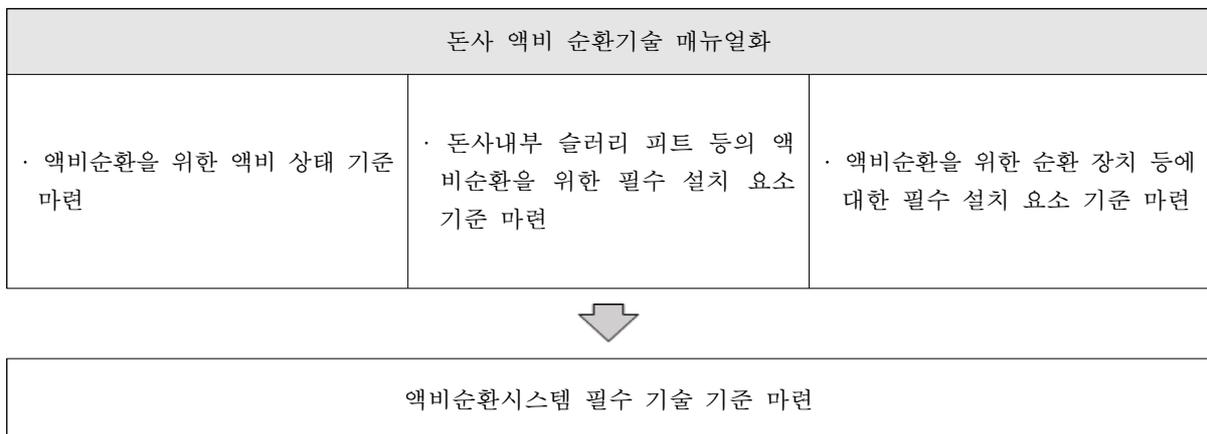
* 분뇨처리방법 및 시설의 효과를 제외한 모든 동일한 조건에서 생산성 검증시험 실시

(2) 개발 내용 및 범위

주관연구기관(에코바이론) :



제1협동연구기관(축산환경관리원) :

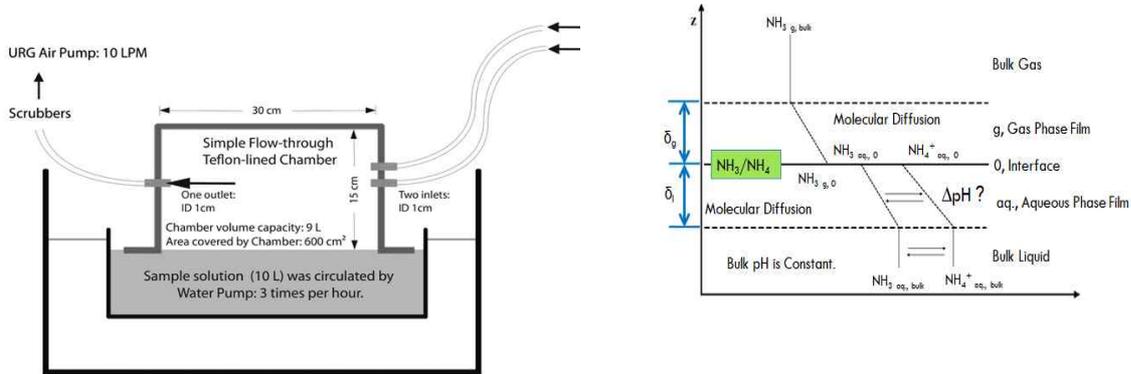


제2협동연구기관(전주대학교) :

양돈장 피트 슬러리 분뇨 처리별 악취(암모니아)발생 정밀 평가	
양돈장 현장 처리별 슬러리 샘플에 적용한 악취배출 비교 평가를 위한 기준 제시	챔버기술을 적용한 환경조건 제어 변수별 표준평가법 제시
<ul style="list-style-type: none"> - 무처리(피트 침전물 미세거 + 액비순환 미적용) 슬러리 샘플 기본악취(암모니아) 배출계수 조사 - 피트 침전물 제거효과 및 액비순환 적용에 따른 배출계수 비교 	<ul style="list-style-type: none"> - 악취 휘발 지배변수(헨리상수, 온도, pH, Turbulent) 중 고정상수(암모니아 헨리상수) 대비 악취 증저감 영향 규명 - 피트 슬러리 샘플의 온도 고정 : 20C 일정하게 - 피트 슬러리 샘플의 pH 고정 : pH7.0, pH8.0 - 최소 환기량 설정을 통한 피트슬러리 물 표면의 악취 배출증 영향 일관되게 유지

환경조건(온도, 습도, 환기량) 별 양돈장악취물질 배출 평가

양돈장 액비순환시스템 적용 농가들의 악취배출 평가 기준 제시



<제 2협동연구기관에서 자체 개발한 악취평가 챔버기술 및 슬러리 대기노출 표면의 배출 기전 적용을 통한 악취 증저감 배출평가 규명(Lee et al., 2013) >

제3협동연구기관(한국축산경제연구원) :

분뇨처리방법별 조사																																																																	
양돈분뇨처리방식(액비재순환)적용시 생산성 평가	액비재순환방식 적용시 돈사내 분뇨성상과 악취가 생산성에 미치는 영향 평가																																																																
<ul style="list-style-type: none"> - 액비재순환방식 적용 전·후 농가 사료요구율, 폐사율 등을 통한 생산성 평가 - 분뇨처리방법 적용 전·후 한돈팜스 농가성적 비교를 통한 생산성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 제1,2협동과제의 액비 성상과 악취발생 농도 분석 결과를 농가의 생산성과 비교하여 액비성상과 악취발생 농도 및 생산성의 상관관계 도출 																																																																
<p>■ 연도별 생산성적비교</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="4">연도</th> </tr> <tr> <th>2014년</th> <th>2015년</th> <th>2016년</th> <th>2017년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>호당모돈수</td> <td>231</td> <td>239</td> <td>245</td> <td>249</td> </tr> <tr> <td>복당출산지수</td> <td>10.97</td> <td>10.96</td> <td>10.82</td> <td>10.93</td> </tr> <tr> <td>복당이유두수</td> <td>9.99</td> <td>10.01</td> <td>9.92</td> <td>9.98</td> </tr> <tr> <td>이유전육성률(%)</td> <td>91.1</td> <td>91.4</td> <td>91.7</td> <td>91.3</td> </tr> <tr> <td>PSY</td> <td>21.0</td> <td>20.8</td> <td>20.7</td> <td>20.9</td> </tr> <tr> <td>MSY</td> <td>18.0</td> <td>17.9</td> <td>18.0</td> <td>17.7</td> </tr> <tr> <td>이유후육성률(%)</td> <td>85.9</td> <td>85.8</td> <td>86.7</td> <td>84.6</td> </tr> <tr> <td>모돈회전율</td> <td>2.18</td> <td>2.16</td> <td>2.15</td> <td>2.15</td> </tr> <tr> <td>분만율(%)</td> <td>84.5</td> <td>83.3</td> <td>84.5</td> <td>84.3</td> </tr> <tr> <td>출하일령</td> <td>199</td> <td>201</td> <td>201</td> <td>202</td> </tr> <tr> <td>사료섭취량(kg)</td> <td>1.49</td> <td>1.56</td> <td>1.56</td> <td>1.54</td> </tr> </tbody> </table>		구분	연도				2014년	2015년	2016년	2017년	호당모돈수	231	239	245	249	복당출산지수	10.97	10.96	10.82	10.93	복당이유두수	9.99	10.01	9.92	9.98	이유전육성률(%)	91.1	91.4	91.7	91.3	PSY	21.0	20.8	20.7	20.9	MSY	18.0	17.9	18.0	17.7	이유후육성률(%)	85.9	85.8	86.7	84.6	모돈회전율	2.18	2.16	2.15	2.15	분만율(%)	84.5	83.3	84.5	84.3	출하일령	199	201	201	202	사료섭취량(kg)	1.49	1.56	1.56	1.54
구분	연도																																																																
	2014년	2015년	2016년	2017년																																																													
호당모돈수	231	239	245	249																																																													
복당출산지수	10.97	10.96	10.82	10.93																																																													
복당이유두수	9.99	10.01	9.92	9.98																																																													
이유전육성률(%)	91.1	91.4	91.7	91.3																																																													
PSY	21.0	20.8	20.7	20.9																																																													
MSY	18.0	17.9	18.0	17.7																																																													
이유후육성률(%)	85.9	85.8	86.7	84.6																																																													
모돈회전율	2.18	2.16	2.15	2.15																																																													
분만율(%)	84.5	83.3	84.5	84.3																																																													
출하일령	199	201	201	202																																																													
사료섭취량(kg)	1.49	1.56	1.56	1.54																																																													
<ul style="list-style-type: none"> - 한돈팜스의 MSY, 출하일령, 사료섭취량 등의 자료를 수집하여 생산성 평가 																																																																	

다. 3차년도

(1) 개발 목표

주관연구기관(에코바이론) :

- (가) 돈사 액비순환 개선효과 검증
 - 액비순환시설설치 농가 악취분석 및 효과
- (나) 돈사 액비순환기술 설계조건 확립
 - 액비순환기술 공정별 설계조건 확립

제1협동연구기관(축산환경관리원) :

- (가) 농가용 액비순환시설 설치 기준 및 운전·관리 매뉴얼 제시
 - 설치 단계별 기준 및 설치비용 산정
 - 액비순환시스템 운전 및 점검 항목 제시, 적정운영 비용 제시

제2협동연구기관(전주대학교) :

- (가) 액비순환시스템 적용 양돈장 악취 현장평가
 - 시험돈사 : 액비순환시스템 적용 양돈장 3개 돈사
 - 액비순환시스템 적용 양돈장의 악취저감 평가(3차년도 해당: ○)

피트 침전물 신속 위생처리	액비순환 시스템 미적용	액비순환시스템 적용 3개 양돈장 내 돈사
적용		○
비적용		○

- 시험방법
 - 액비순환시스템 적용 양돈장 축사 피트 슬러리 3개 샘플(3반복)에 대한 용존 잠재 악취 물질 : BOD, COD, SS, TAN, TKN 등 분석
 - 대상 악취 : 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 분진(PM2.5/10/Coarse(10-2.5), 복합악취(공기회석 관능법)
 - * NH₃ 분석은 INNOVA1412i 이용 연속 분석법 적용, H₂S는 가스텍 검지관을 이용 평가함을 원칙으로 함
- 조사항목
 - 농가전체 및 시험돈사 현황 : 사육현황, 돈사구조, 분뇨발생량, 분뇨처리량, 액비순환시스템 각 공정별 운영 현황
 - 양돈장 축사 내 피트 슬러리 pH, 온도, 습도, 환기량 등을 조사함

제3협동연구기관(한국축산경제연구원) :

- (가) 양돈분뇨처리 방법별 경제성(비용/편익) 분석
 - 관행 슬러리돈사방식 대비 피트내 침전물 제거시 추가 비용 분석

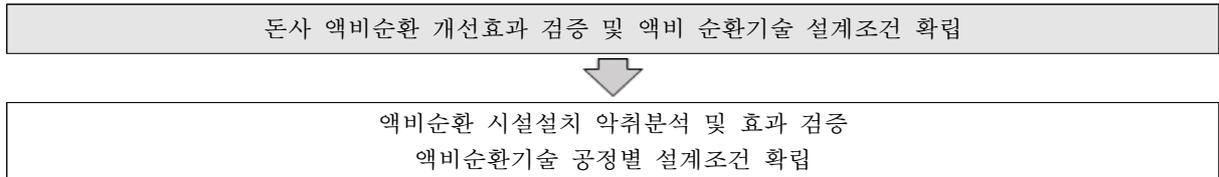
- 관행 슬러리돈사방식 대비 액비재순환방법 적용시 추가 비용 분석

(나) 양돈분뇨내 악취유발물질 농도감소 및 악취저감 등의 생산성 증대를 위해 적용된 기술의 경제성 분석을 통한 경제적인 모델 제시

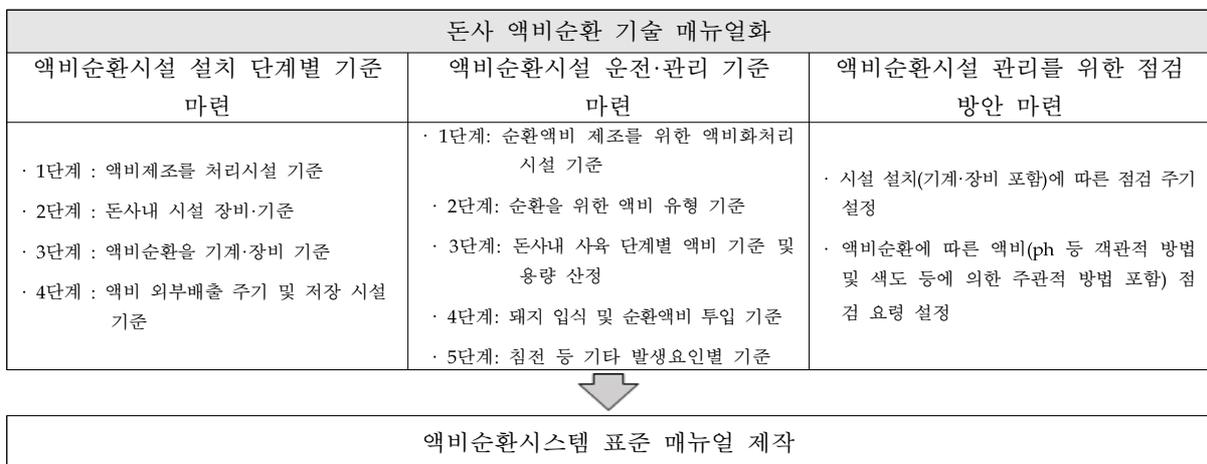
(다) 돈사내 환경개선과 생산성과의 상관관계 도출

(2) 개발 내용 및 범위

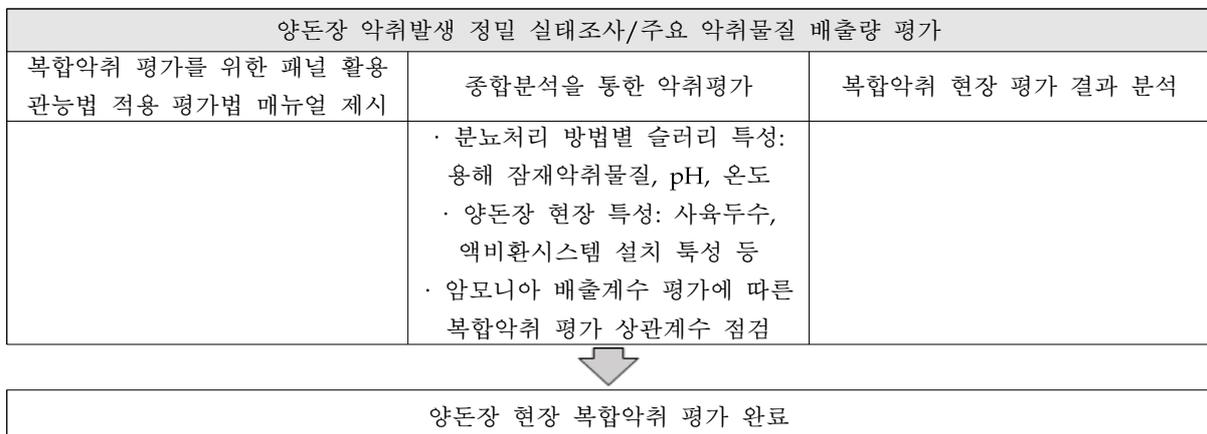
주관연구기관(에코바이론) :

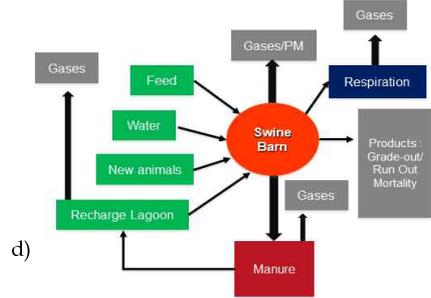
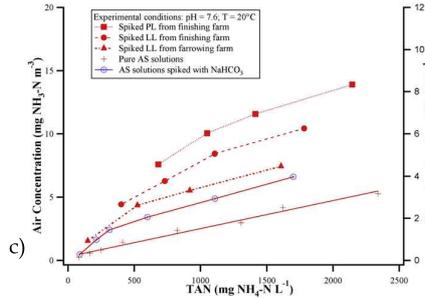
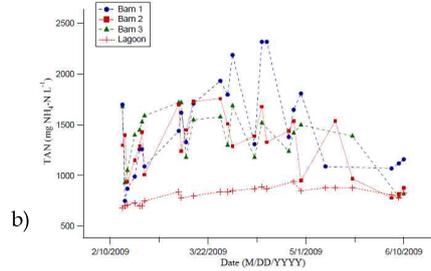
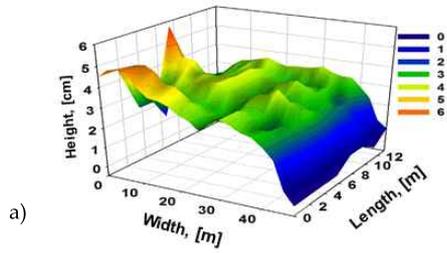


제1협동연구기관(축산환경관리원) :



제2협동연구기관(전주대학교) :





< 제 2협동연구기관에서 기여할 액비순환시스템 개선을 통한 a) 피트 슬러리 중 침전물질 조사, b) 피트슬러리 중 녹아있는 잠재 악취물질 농도 변화, c) 슬러리 처리별 악취가스(암모니아)의 배출 증감 분석 d) 가축분뇨 배출에 따른 악취물질(암모니아성 질소)의 돼지 생산성 연관도 >

제3협동연구기관(한국축산경제연구원) :

분뇨처리방법별 경제성, 생산성 분석		
양돈분뇨처리 방법별 경제성(비용/편익) 분석	생산성 증대를 위해 적용된 기술의 경제성 분석을 통한 경제적인 모델 제시	돈사 내 환경개선과 생산성과의 상관관계 도출
<ul style="list-style-type: none"> - 관행 슬러리돈사방식 대비 피트내 침전물 제거시 추가 비용 분석 - 관행 슬러리돈사방식 대비 액비재순환방법 적용시 추가 비용 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 액비순환 기술 방법별 경제성 분석을 통한 경제적인 모델 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 제2협동과제의 돈사 악취측정 결과를 적용하여 생산성과의 상관관계 도출
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>국내 실정에 맞는 경제적인 액비순환시스템 모델 제시</p> </div>		

2-3. 연구개발 성과 및 평가방법

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표												연구기반지표							
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육지도	인력 양성	정책 활용·홍보		메뉴얼 제작
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문		학술 발표			정책 활용	홍보 전 시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건			
가중치	20	10		10		10	10							5	10	10		15	
최종목표	2	2		1		45	125				1	5	5	45	70	5		1	
1차년도	1					5	25						1	5	20				
2차년도	1	1				10	50					1	1	10	20	2			
3차년도		1		1		10	50				1	2	2	10	10	2		1	
4차년도																			
5차년도																			
소 계	2	2				25	75				1	3	5	25	50	4		1	
종료 1차년도						10	30						1	10	10	1			
종료 2차년도						10	30					1		10	10				
종료 3차년도							30					1							
종료 4차년도																			
종료 5차년도																			
소 계						20	90					2	1	20	20	1			
합 계	2	2				45	165				1	5	6	45	70	5		1	

* 단계별 연구성과 목표는 향후 중간/최종/추적평가 등의 정량적 평가지표로 활용됨

** 연구성과는 연구개발계획에 맞춰 도출하고 예시와 같이 작성

*** 가중치 총합 100을 기준으로 성과목표지표별 중요도, 난이도에 따라 배분하되 가중치 총합이 100이 되도록 배분(사업화지표에 60 이상 배분)

2-3. 연구개발 결과

[주관기관 에코바이론]

가. 액비순환 기존시설 설치조건 확립

- 기존 양돈장의 액비순환 설치 조건을 확립하기 위해 양돈장 분뇨처리시설에 대한 현황 조사를 실시하였으며 이를 바탕으로 처리시설의 문제점을 파악하고, 액비순환시설 도입을 위한 개선설계 방안을 제시 및 실제 적용하였음.

(1) 양돈장 분뇨처리시설 현황조사

(가) 연구조사 방법

- 분뇨처리시설 별 액비순환시설, 정화방류시설, 일반처리시설, 위탁처리·단순저장 시설 설치 13개 농가(경산3, 여주1, 연천3, 의령1, 제주1, 안성1, 이천1, 고흥1, 당진1)를 섭외하여 분뇨처리시설에 대한 방문조사를 실시하였음.
- 분뇨처리시설의 종류는 같게 분류되더라도 공정법과 기계설비, 운영 실태는 농가마다 상이하므로 농장주 및 시설관계자와의 인터뷰를 통해 분뇨처리시설 종류 및 공정도, 기계장비의 종류, 실질적인 운영 실태 등을 조사하였음.



경산 F농장



경산 N농장



경산 L농장



여주 B농장



(나) 연구조사 결과

- 조사결과 액비순환시설 6농가, 정화방류시설 3농가, 일반터리시설 3농가, 위탁처리 1농가였음. 액비순환 또는 액비제조를 목적으로 설계된 시설이더라도 실질적으로는 액비제조 또는 단순 분뇨저장으로 이용되는 농가가 전체 13개 농가 중 4농가(의령 A농장, 여주 B농장, 제주 E축산, 연천 K농장)에 해당함.
- 액비순환의 경우 업체의 도움 없이 농장주가 수작업으로 직접 운영하여 성공한 사례는 당진 언덕아래농장만 유일하였으며 다른 농장주의 수작업 액비순환은 액비순환에 대한 전문지식 부족으로 인한 실패요인이 대부분임.
- 13개 농가 중 6개 농가(의령 A농장, 여주 B농장, 고흥 C농장, 제주 E농장, 연천 J농장, 연천 K농장)에 대한 액비순환시설 개선 설계를 진행하였으나, 실제 농가 설계 적용은 4개농장을 실행함. 경산의 3개농가는 광역악취개선사업을 통해 개별적으로 액비순환 개선을 계획함.

<표 1. 양돈장 분뇨처리시설 조사 요약표>

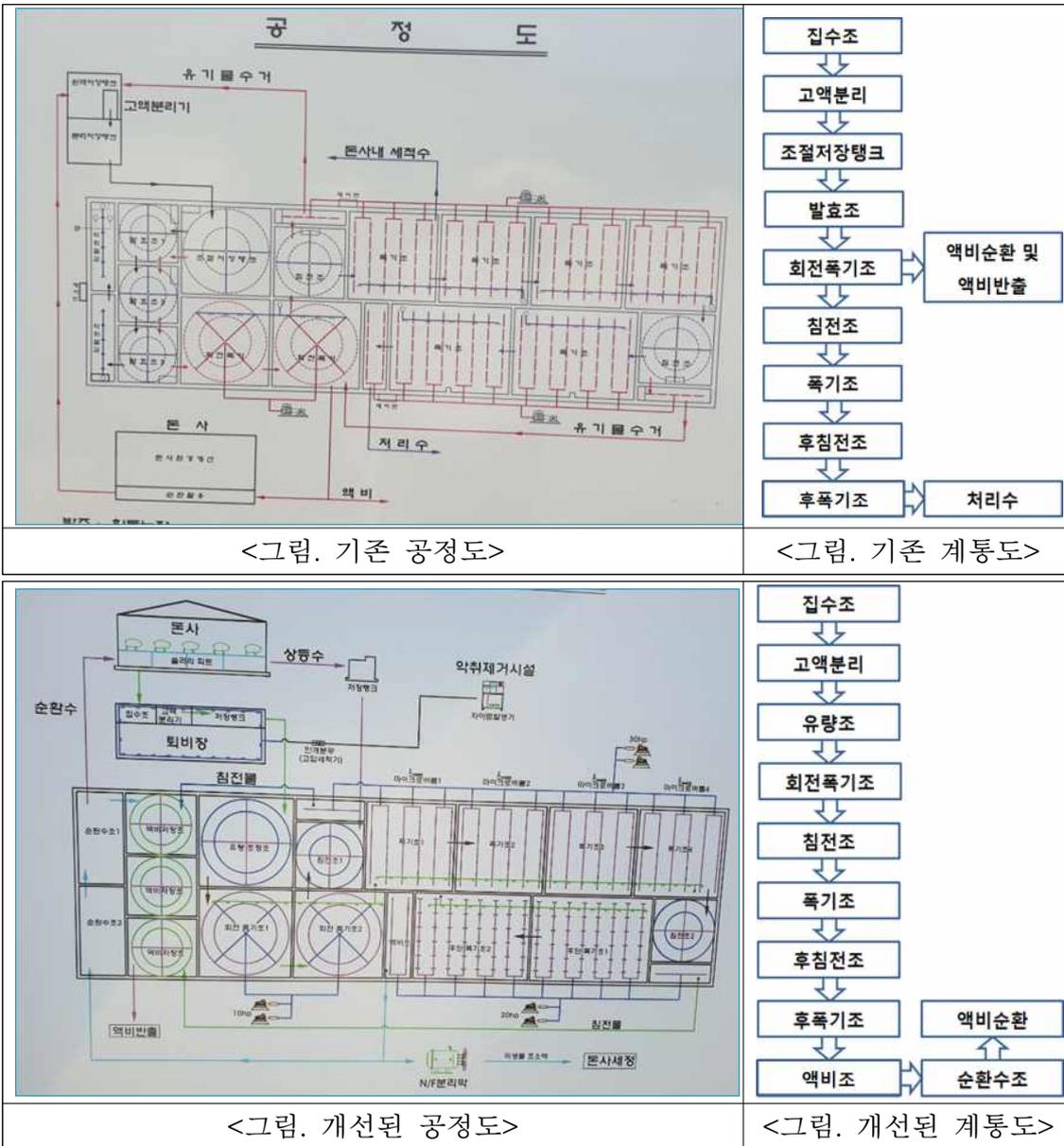
분뇨처리시설 종류				
액비순환시설		정화방류시설	일반처리시설	위탁처리
6		3	3	1
처리시설	지역	농장명	처리시설 운영실태	비고
액비순환시설	의령	A농장	액비순환시설로 설계되었으나, 실질적으로는 액비제조시설로 이용함.	
	여주	B농장	액비순환시설로 설계되었으며 일정기간 액비순환을 운전하였으나, 액비순환방법에 대한 이해부족으로 실패함. 이후 액비제조시설로 이용함.	
	고흥	C농장	액비순환시설을 설치하여 운영 중임. 반출액비가 지나치게 많이 생산되어 저장조의 용량을 초과하였음.	
	당진	D농장	농장주가 업체의 도움 없이 수작업으로 액비순환 운전 중이며 오랜 기간 동안 성공적으로 액비순환 운영 중임.	
	제주	E농장	액비순환시설로 설계되었으나, 실질적으로는 액비제조시설로 이용함. 악취 민원이 잦아 모든 분뇨처리시설을 밀폐하였으며 바이오커튼을 설치함.	
	경산	F농장	최근 액비순환시설을 설치하여 초기운전 상태임.	
정화방류시설	안성	G농장	액비순환시설과 MBR 및 R/O필터, 가압부상기를 이용한 정화시설을 운영 중임. 농가의 사정에 따른 일부만 방류함.	
	이천	H농장	액비순환시설과 가압부상기를 이용한 정화시설을 운영 중임. 하루 25톤 방류함.	
	연천	I농장	비순환시설과 N/F분리막을 이용한 정화시설을 운영 중임. 방류수는 돈사 및 주변환경의 세척수로 중수 재활용 함.	
일반처리시설	연천	J농장	농장주가 업체의 도움 없이 수작업으로 액비순환을 시도하였으나, 전문지식 부족으로 실패함.	
	연천	K농장	일반처리시설로 설계되었으나, 단순 분뇨저장으로 이용 및 위탁처리 함.	
	경산	L농장	농장주가 업체의 도움 없이 수작업으로 액비순환을 시도하였으나, 전문지식 부족으로 실패함. 지속적으로 액비순환을 시도 중임.	
위탁처리	경산	N농장	분뇨처리시설 없이 집수조와 고액분리기만 설치 됨.	

(2) 양돈장 분뇨처리시설 문제점 파악 및 액비순환 개선 설계적용

(가) 의령 A농장

① 공정순서 변경

- 기존의 공정은 돈사로 순환되는 액비가 회전폭기조에서 반출되었는데, 회전폭기조1,2의 용적은 384m³로 HRT를 계산하면 8.5일이며 이는 '가축분뇨 자원화시설 표준설계도'에서 액비를 만들기 위해 정한 HRT 30일에 한참을 못 미치는 처리일수 임.



- 이에 기존 공정순서인 [집수조→고액분리→조절저장탱크→발효조→회전폭기(순환)→침전조→폭기조→후침전조→후폭기조]를 [집수조→고액분리→유량조→회전폭기조→침전조→폭기조→후침전조→후폭기조→액비조→순환수조→액비순환]순으로 바꿈.

- 개선된 공정은 회전폭기조, 폭기조, 후폭기조를 거친 부숙 액비를 순환하는 공법으로 바꾸었으며, 폭기조 용적은 폭기조 768m³, 후폭기조 504m³, 회전폭기조 384m³ 합이 총 1,656m³으로 HRT 36.8일로 개선함.

② 침전조 스크래퍼 감속

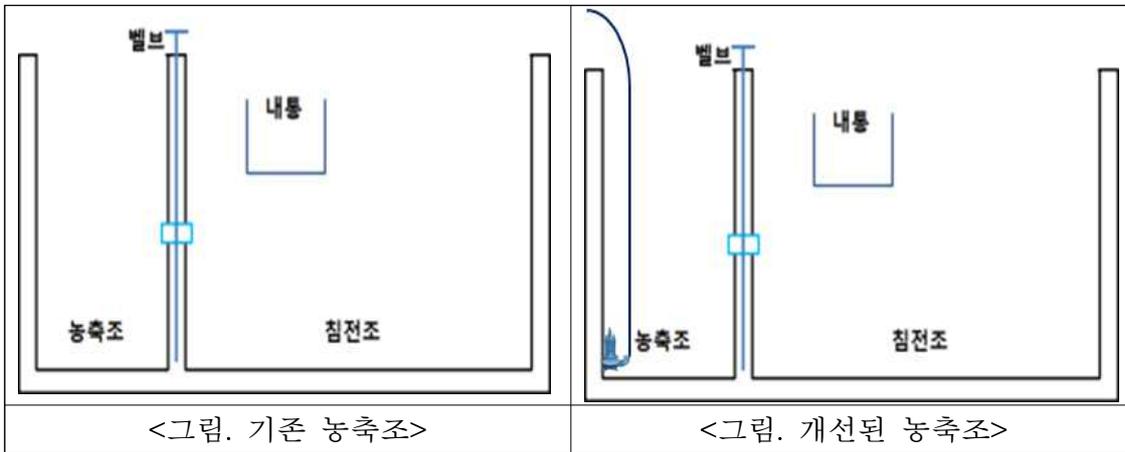


<표. 침전조 스크래퍼 감속 전, 후 비교>

구 분	기존 설비	신규 설비	비고
감속모터 rpm	1 rpm	0.5 rpm	현장 계측
구동 스프라켓 tooth	12	8	
출력 스프라켓 tooth	16	16	
스크래퍼 rpm	$1 \times 12 \div 16 = 0.75\text{rpm}$	$0.5 \times 8 \div 16 = 0.25\text{rpm}$	$\text{모터rpm} \times \text{구동스프라켓tooth} \div \text{출력스프라켓tooth}$
결 과	기존 0.75rpm > 신규 0.25rpm		

- 침전조 스크래퍼 실측 결과 침전조 스크래퍼는 0.750rpm의 속도로 회전하는 것을 알 수 있었으며, ‘2016 개인하수·분뇨관리 법정교육교재’에 제시되어 있는 Cyclo reducer RPM 산정식을 활용하여 침전조 스크래퍼의 적정 rpm을 계산한 결과 0.106rpm으로 산출됨.
- 액비순환 적용 시, 침전조에 처리되는 오염수는 고액분리 된 일반적인 분뇨에 비해 오염수의 침전물 성상에 차이가 있으며, 일반적인 침전조의 깊이 5m(유효깊이 4m)에 비해 낮은 4m(유효깊이 3m) 깊이의 침전조인 것을 감안하여 감속모터 및 스프라켓을 0.25rpm으로 감속·교체 함.

③ 침전조의 농축조에 펌프설치



- 침전조와 농축조를 연결하는 밸브관이 하부가 아닌 중부에 위치해 있어 밸브관의 높이 까지 도달하지 못한 침전층에 의해 유효용적이 감소하며, 처리효율을 떨어뜨리고, 남아 있는 침전층은 교반기 운전에 부담을 주는 요인이 됨.
- 농축조의 침전물을 액비저장조로 펌핑하여 부숙된 액비와 함께 반출 함. 순환시스템에서 슬러리피트의 순환수는 액비와 큰 차이가 나지 않는 무악취 상태이며, 개선된 공정도에서 이미 고액분리 후 회전폭기조를 거친 액비이기 때문에, 농축조의 침전물을 액비저장조로 이송하여 추가적인 간헐폭기·교반을 통해 충분한 부숙상태를 만들 수 있음.

④ 브로워 교체



<표. 기존 브로워>

송풍기 배치	공기공급량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	개수	비고
폭기조1,2,3,4	9.29	15 (20)	1	
후단폭기조1,2	9.29	15 (20)	1	
회전폭기조1,2	6.21	7.5 (10)	1	

- ‘가축분뇨 자원화시설 표준설계도’ 에서 제시하고 있는 폭기조 필요공기량 산출식을 활용하여 ‘용적기준 폭기조 필요공기량 산출식’ 을 산정한 결과 폭기조 필요공기량은 23.04m³ · air/min, 후폭기조는 15.12 m³ · air/min, 회전폭기조는 11.52m³ · air/min로 계산됨.

<표. 신규 설치된 브로워>

송풍기 배치	공기공급량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	개수	총 공기공급량 (m ³ /min)	비고
폭기조1,2,3,4	13.08	22.5 (30)	2	26.4	1대 예비
	3.33	10.5(15)	4		마이크로버블
후단폭기조1,2	9.29	15 (20)	2	18.58	
회전폭기조1,2	6.21	7.5 (10)	2	12.42	

- 폭기조는 30HP 브로워 2대를 신규 배치하고 각각 마이크로버블 이젝터를 설치하며 루츠 브로워 1대는 예비로 운용하여 26.4m³ · air/min의 공기를 공급함.
- 후단폭기조는 기존 20HP 브로워 1대와 기존 브로워 1대를 재배치(20HP 브로워 2대)하여 18.58m³ · air/min의 공기를 공급함.
- 회전폭기조는 10HP 브로워 1대를 신규 배치(10HP 브로워 2대)하여 12.42 m³ · air/min의 공기를 공급함.

(나) 연천 J농장

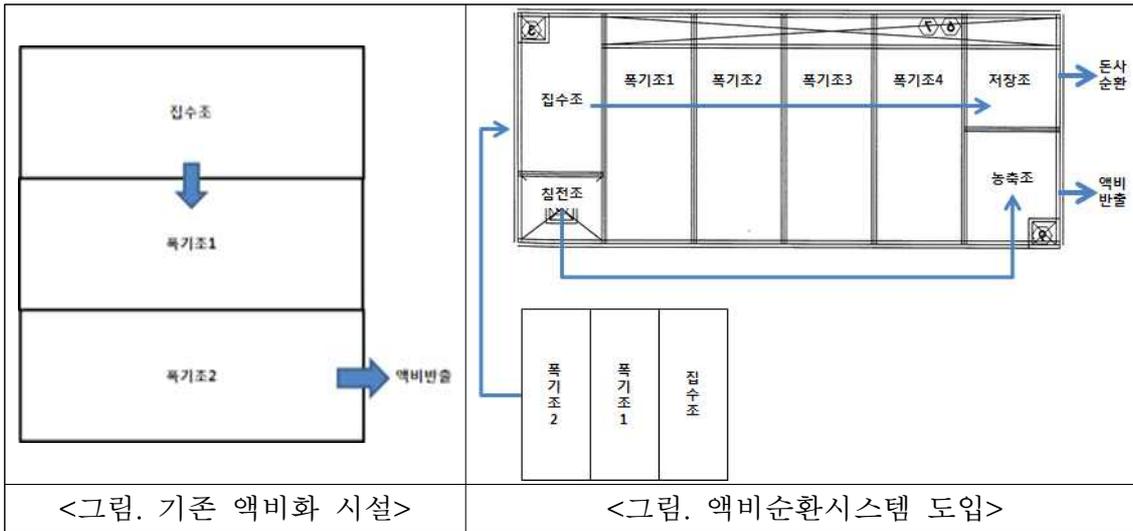
① 폭기조 추가설치 및 액비순환시스템 도입



<그림. 액비화 시설>

<그림. 액비화시설 설치 >

- 농장의 폭기조의 총 용적은 400m³이며 일일분뇨발생량은 20m³이기 때문에 HRT는 20일로 '가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도' 에서 제시한 처리일수 30일 충족하기에는 폭기조가 부족함.



- 기존 폭기조 2의 액비를 신설되는 집수조로 이송하며 신설된 액비저장조의 액비를 돈사로 순환함. 침전조의 침전물을 농축조로 이송하고 농축조에서 재처리하여 액비로 반출함.
- 신설 처리시설의 폭기조의 용적은 600m³로 기존의 폭기조 400m³까지 합하면 총 용적 1,000m³, HRT 50일로 '가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도' 충족시키는 용량임.

② 폭기조 브로워 설치



<표. 기존 브로워>

송풍기 배치	공기공급량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	개수	비고
폭기조1	3.33	10.5(15)	1	마이크로버블
폭기조2	3.33	10.5(15)	1	마이크로버블

- 폭기조의 용적은 각각 200m³이며 폭기조에 배치된 송풍기는 10.5kw(15HP) 이젝터 펌프(마이크로버블)임. 그러나 '가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도' 에서 제시한 액비화조 단위 용적당 필요공기량을 이용하여 계산된 폭기조 필요공기량은 폭기조 12 m³ · air/min으로 공기공급량이 부족함.

<표. 신규 설치된 브로워>

송풍기 배치	필요 공기량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	공기 공급량 (m ³ /min)	개수	비고
폭기조1	6	22.5 (30)	13.08	1	
폭기조2	6	22.5 (30)	13.08	1	

- 신규 설치한 액비화조의 단위 용적당 필요공기량 20m³/min을 충족시킬 수 있도록 22.5kw(30마력)의 루츠브로워로 신규 설치함.

③ 돈사 사이 유량조정조 설치

<p><그림. 경사진 구조의 농장></p>	<p><그림. 경사진 돈사사이 유량조정조 설치></p>	

- 농장은 고지대에와 저지대에 위치한 돈사로 나뉘어져 있으며 분뇨처리시설은 고지대 돈사와 저지대 돈사의 사이에 위치해 있음. 이러한 돈사 구조로 인해 슬러리 피트에서

처리시설로 분뇨를 이송하는 것에 어려움이 있음.

- 돈사 사이의 유량조정조를 설치하여 분뇨를 간이 저장하고 펌프를 이용하여 기존 처리 시설의 집수조로 이송함.

(다) 연천 K농장

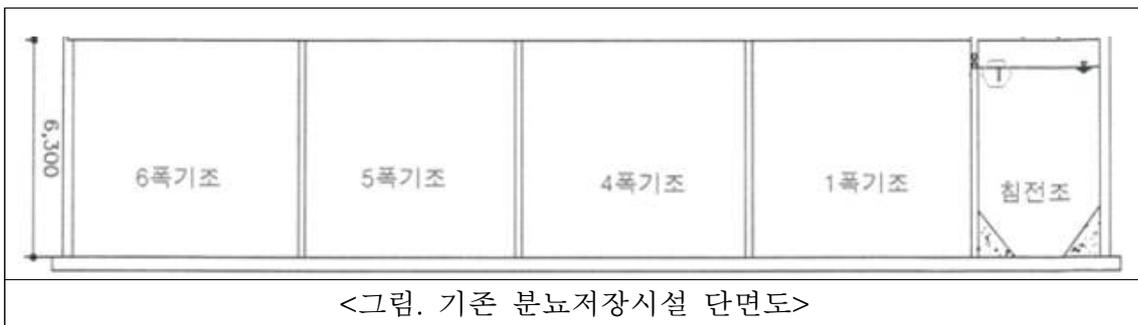
① 기존 분뇨저장시설의 구조개선



<그림. 기존 분뇨저장시설>



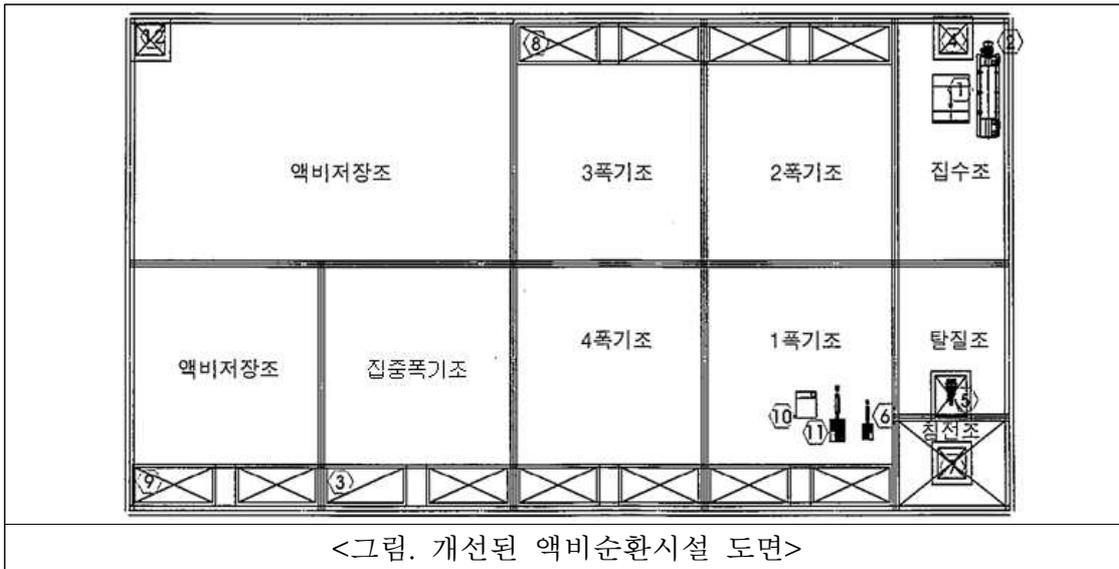
<그림. 개선된 액비순환시설>



- 폭기조와 폭기조 사이가 벽으로 완전히 막혀있어 폭기조 간 액비의 이동이 자연스럽게 못하고 6m의 깊은 수심으로 인한 압력으로 폭기 시 공기공급이 원활하게 이루어지지 않음.



- 폭기조의 벽 5m지점에 액비가 이동할 수 있는 큰 구멍을 뚫어 폭기조의 유효깊이를 5m로 개선하고 깊은 수심으로 인해 송풍기에 가해지는 부하를 줄임.



② 터보브로워 설치



- 송풍기에 가해지는 부하를 고려하여 터보 브로워를 설치함.

(라) 여주 B농장

① 농장 운영자에게 액비순환원리 및 운전방법 교육

- 액비순환시설이 13년도에 설치되어 운전하였으나, 운영자의 전문지식 부족과 시설업체에서 제시한 액비순환 방법대로 운전하지 않아 액비순환에 실패함. 이에 농장 관리자에게 액비순환 교육을 실시함.

- 돈사 슬러리 피트의 분뇨는 매월에 1회 순차적으로 비우고 비워진 피트를 농가에서 제조한 부숙 액비로 채우는 것을 원칙으로 함.
- 액비순환은 한 동의 돈사부터 순환을 개시하여 천천히 늘려가며 순환되는 돈사가 안정되면 다음 동의 돈사의 액비순환을 시작함.
- 액비순환은 부숙 액비를 확보하는 것이 가장 중요하기 때문에 한번에 많은 양의 분뇨가 액비시설에 유입되면 유기물과 질소의 충격부하가 발생하고 액비 부숙의 기간이 증가하여 액비의 순환효율이 감소함.
- 슬러리피트를 비우더라도 바닥의 침전된 고형 분뇨는 한 번에 제거되지 않으며 농장의 사정상 콘슬랏을 모두 들어내고 바닥을 청소하기에는 어려움이 있기 때문에 꾸준히 액비를 주입시키고 분뇨를 내보내서 바닥의 침전물을 제거시켜야 함.

(마) 제주 E농장

- 농장의 사정에 의해 문제점 도출 및 개선설계까지만 연구가 진행됨.

① 폭기조 추가확보

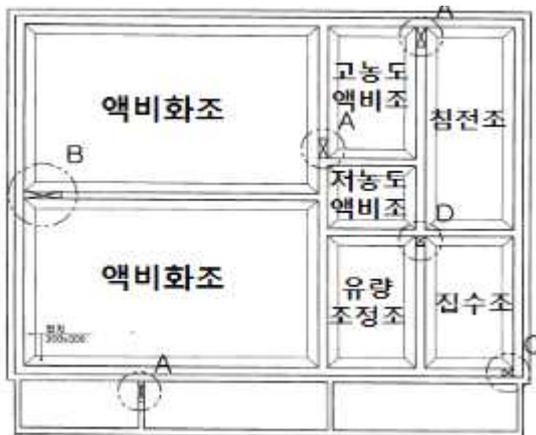
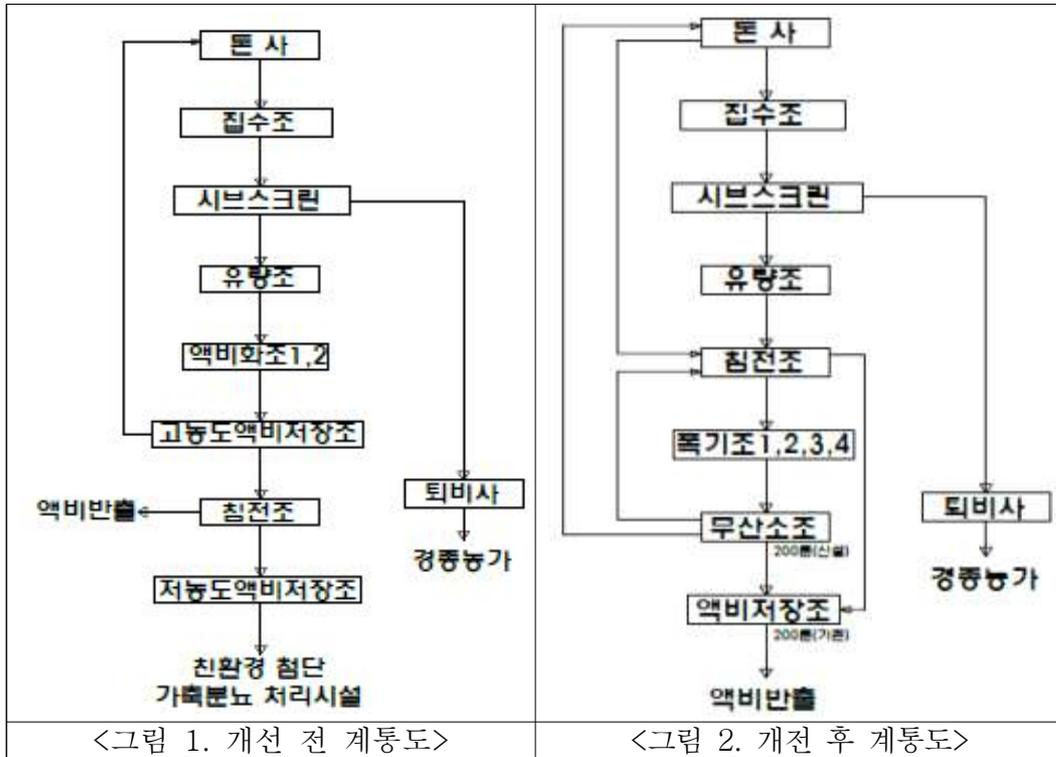
- 일일처리량은 대략 15톤이고 폭기조의 용적은 400m³(유효용적은 320m³)이며 이를 바탕으로 폭기조의 HRT를 계산하면 대략 21일임. ‘가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도’를 보면 혼합식 돼지분뇨의 호기액비화시설의 처리일수는 30일이므로 폭기조 용적이 부족함
- 기존시설에서 고농도 액비저장조와 침전조를 폭기3, 4조로 전환하여 처리일수를 증가시키면 총 폭기조 유효용적은 416m³로 HRT 29일을 확보 가능함.
- F/M비 기준 폭기조 용적산정 식(액비순환시스템 기준)을 이용하여 필요용적을 계산하였을 때 폭기조의 필요용적은 384m³로 계산되었으며 이는 개선된 폭기조가 충분히 수용하는 용적임. 농장이 악취제거를 위해 바이오커튼을 이용하여 악취제거제를 지속적으로 분무·살포하는 것을 감안하여 안전율 20%에 해당하는 용적을 추가시킴.

<표 1. F/M비 기준 폭기조 용적 산정식(액비순환시설 기준)>

구분	적용	계산 근거	비고
유입BOD (mg/l)	32,000	- 순환시스템 32,000ppm적용	
Q(m ³ /일)	15	- 일일 발생량 15m ³ /일	
MLSS (mg/l)	15,000	- 순환시스템 15,000ppm 적용	
F/M비	0.1	$F/M비 = \frac{\text{유입BOD} \times Q}{MLSS \times V}$ $= \frac{(32,000 \times 15)}{(15,000 \times V)}$ $= 0.1$	
용량(V) 계산	$= \frac{(32,000 \times 15)}{(0.1 \times 15,000)}$ $= 320m^3$	- 계산식=(BOD × Q)÷(V × MLSS)	
안전율	$= 320 \times 0.2$ $= 64$	- 약품, 소독제 등의 사용과 계절변화에 따른 분뇨성상을 고려한 안전율 20%	
필요용적	$= 320 + 64$ $= 384m^3$		
결과	개선된 폭기조 용적 416m ³ > 384m ³ (액비순환시스템 기준) > 412.5m ³ (일반처리시설 기준)		

② 저농도 액비저장조를 침전조로 전환

- 고농도와 저농도 액비조를 따로 나누어 고농도의 액비는 돈사로 순환하고 저농도의 액비는 처리시설로 가는 구조였으나, 실제로는 미생물의 침전이 제대로 이루어지지 않아 농도의 구분이 불분명하며 MLSS의 차이가 모호함.
- 저농도 액비저장조를 침전조로 전환하고 내통을 설치하여 상등수를 폭기조로 Overflow 하도록 설계함. 바닥에 침전된 슬러지는 펌프를 이용하여 유량조정조로 이송한 후 슬러지 찌꺼기나 돈사에서 유입된 부유물질을 고액분리하여 폭기조로 유입시킴.
- 침전조 상등수와 유량조정조에서 고액분리 된 순환수는 SS수준이 낮은 상태로 유입되어 폭기조의 충격부하를 낮추는 효과를 볼 수 있으며 액비조의 거품 과다현상과 처리시간의 지연을 예방함.



(바) 고품 C농장

- 농장의 사정에 의해 문제점 도출까지만 연구가 진행됨.

① 액비 저장공간 부족으로 인한 문제

- 액비순환시설 설치 당시 액비의 시비량과 반출량이 충분할 것으로 예상하여 고도 처리 시설 없이 별도의 액비저장조만 설치하였으나 액비반출이 원활하지 않아 문제가 발생함.

- 액비수요가 적은 시기의 액비반출에 어려움을 겪어 액비 저장조와 별도의 액비 저장조

- 각 양돈장별로 액비제조기술의 문제점을 파악하기 위하여 현장 방문조사 및 설문지 조사의 내용을 기반으로 3가지의 기준(① 폭기조 용량의 충족, ② 공기 공급량의 충족, ③ 기계장치 및 공정상의 문제)을 세우고 연구를 진행함.
- 기준① ‘폭기조 용량의 충족’ 과 기준② ‘공기 공급량의 충족’ 의 평가를 위하여 농가조사 설문지 결과를 일부 재가공하여 다음과 같은 ‘양돈장 정보표’ 로 정리함.

<표. 양돈장 정보표>

OOO 농장	
두수 (두)	
일일 발생량 (m ³ /일)	
폭기조 용량 (m ³)	
미생물 사용여부	
고액분리기	
산기관	
공기공급장치	
공기공급량 (m ³ /min)	

- 가축분뇨 자원화시설 표준설계도(2008)를 참고한 ‘F/M비 기준 적정 폭기조 용량 계산식’ 과 ‘폭기조 필요공기량 계산식’ 에 양돈장 정보표의 내용을 대입하여 기준①과 ②에 대한 평가를 실시함.
- 3가지 기준에서 도출한 문제점을 기반으로 양돈장 액비제조기술 유지관리 방안을 검토함.

<표. F/M비 기준 적정 폭기조 용량 계산식>

구분	적용	비고
F/M비	0.1	$F/M비 = \text{유입BOD} \div \text{MLSS} \times V$ $= (\text{유입BOD} \times Q) \div (\text{MLSS} \times \text{폭기조용량})$
BOD (mg/ℓ)	22,000	(표준설계도 기준)
Q(m ³ /일)		일일 발생량
MLSS (mg/ℓ)	8,000	(표준설계도 기준)
적정용량		$(\text{BOD} \times Q) \div (\text{F/M비} \times \text{MLSS})$
결과	(계산된 용량) m ³ / (실제용량) m ³	

<표. 폭기조 필요공기량 계산식>

구 분	적용	비고
폭기조 단위용량당 필요공기량($m^2/min \cdot m^3$)	0.03	필요공기량(m^2/min) ÷ 액비화조 용적(m^3) (표준설계도 기준)
필요공기량		$0.03 m^2/min \cdot m^3 \times$ 액비화조용적(m^3)
결과	(계산된 공기량) m^2/min / (실제 공기공급량) m^2/min	

(나) 연구조사결과

<표. 양돈장별 액비제조기술의 문제점 조사표>

농장명		폭기조 용량(m³)		공기공급량 (m³/min)		기계장치		기타 문제점	비고
		필요용량	실제용량	필요량	실제량	고액분리	산기관		
A	안성 a농장	390.5	1,200	36	4.68	X	X		액비순환
	안성 b농장	357.5	600	18	4.68	X	X		액비순환
	제주 c농장	192.5	1007.7	30.2	-	X	X	고액분리기 고장	
B	경산 d농장	420.75	600	18	23.6	O	O	폭기조 과부하 발생	액비순환
	제주 e농장	412.5	200	6	7	O	X		
C	경산 f농장	412.5	900	27	0.09	O	X	짚은 액비화공법 변경	
	의령 g농장	1,237.5	1,656	37.13	24.79	O	O	침전조 스크래퍼의 고속회전	
	여주 h농장	357.5	620	18.6	17.7	O	O		액비순환
	연천 i클팜	550	200	6	6.66	O	X		
	당진 j농장	181.5	100	3	2.06	O	O		액비순환
	제주 k농장	182.3	12	0.36	4.12	O	O	짚은 장비고장	
	이천 l농장	632.5	1,000	30	50	O	O		액비순환
D	연천 n농장	825	1,500	45	50	O	O		액비순환
	고흥 m농장	1,512.5	1,960	58.8	55	O	O		액비순환
	홍성 o농장	561	1,500	45	35	O	O	산기관 및 반송라인 막힘현상	액비순환

- 위의 ‘양돈장별 액비제조기술의 문제점 조사표’ 를 보면 대부분의 양돈장이 일일발생량에 비해 폭기조의 용량이 부족하거나, 폭기조 용량에 비해 공기공급량이 부족한 것으로 조사됨. 또한 공법의 문제보다는 장비의 고장으로 인한 액비제조에 문제가 발생하는 경우가 더 많이 발견되었음.
- 양돈장을 3가지 유형별로 나누었을 때, 문제점이 발견되지 않거나 계산수치와 실제량에 큰 차이가 없는 액비제조기술을 보유한 농장은 a농장(A), b농장(A), h농장(C), l농장(C), n농장(D), m농장(D)으로 조사되었음.
- a농장(A)과 b농장(A)의 경우 고액분리를 하지 않음에도 액비제조 과정에 큰 문제가 없는 것으로 보이지만, 액비순환시스템 공정의 일부로서 고액분리과정이 존재하지 않는 것으로 액비순환공법 상에 고액분리를 대신할 방법이 존재함. 따라서 두 농장에서 도입한 액비순환시스템을 설비하지 않는 이상 일반적인 액비제조기술 방안으로 채택하는 것에는 어려움이 있는 것으로 판단 됨.
- h농장(C), l농장(C), n농장(D), m농장(D)의 경우 공통적으로 고액분리 공정을 보유한 액비제조 기술이었으며, 미생물의 접종 없이도 액비제조에 큰 문제가 되지 않음.
- 이에 양돈장의 사육규모에 맞는 폭기조과 공기공급 장치를 갖추고, 장비 고장 시 수리나 교체와 같은 농장주의 관리만으로도 액비제조에 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단 됨. 또한 고액분리기가 포함된 공정이 액비제조에 더 적합한 것으로 보임.
- 액비제조기술에 문제가 없는 것으로 판단되는 a농장(A), b농장(A), h농장(C), l농장(C), n농장(D), m농장(D)은 공통적으로 액비순환을 실시중인 농장이었음.
- 액비순환의 경우 부속된 액비를 제조하고 돈사 슬러리피트로 재순환시켜 분뇨와 악취물질을 1차적으로 분해할 뿐만 아니라, 슬러리피트가 탈질조의 역할을 함께 수행한다는 장점이 있음.
- 따라서, 광역악취 개선사업과 같은 지자체 또는 정부 지원 사업에 액비순환시스템을 장려하고 도입하는 것이 효과적으로 악취발생이 적은 액비제조기술을 보급 및 활용하는 방안일 것으로 보임.

다. 액비순환시스템 자동화 방안

(1) 돈사 유형에 따른 액비순환시스템

- 돼지는 임신사, 분만사, 자돈사, 비육사 등 성장 단계에 따라 돈사가 구분되며 섭취하는 사료의 성분이 다르고 분뇨의 성상에도 차이가 있기 때문에 액비순환 시 돈사별 액비공급량 또한 다르게 적용시키는 것이 효율적인 것으로 판단됨.
- 돈사의 유형에 따라 액비의 공급량 조절을 결정하는 제어인자를 ORP로 선정함. ORP는 산화환원전위로서, 용액 내부의 어떤 물질간의 반응이 일어날 때 전자를 잃는 쪽을 산화되었다고 하며, 전자를 얻는 쪽을 환원되었다고 함. 산화와 환원반응은 동시에 일어나는 반응이며 전자교환이 일어나는 모든 반응은 산화환원반응임.
- ORP는 용액 내 산화환원반응에 의해 생성된 물질 사이에 형성된 균형의 전위를 측정함으로써 알 수 있음. ORP를 알면 용액 내 화학반응의 내용을 예측할 수 있다는 점에서 중요한 의미가 있음.
- 생물학적 반응에서 ORP를 측정하는 것은 미생물에 의한 유기물 및 질소제거기전의 상태에 대한 예측을 가능하게 함. 생물학적 반응조 내에서 호기적 상태일 때는 유기물산화 및 질산화반응에 의해 ORP는 증가하는 형태를 나타내며 혐기적 상태에서는 감소하는 형태를 나타냄.
- 실제 액비순환시설을 보유한 양돈장의 집수조 분뇨와 폭기조 액비의 ORP를 측정한 결과 수치상의 차이는 있지만, 혐기상태의 집수조 분뇨는 (-)값을 나타냈으며, 호기상태의 폭기조 액비는 (+)값을 나타냈음.
- ORP를 액비순환시스템에 적용할 때, 액비 순환기 동안 overflow되어 침전조로 유입되는 분뇨의 ORP를 실시간으로 측정하면 ORP의 값이 (-)값에서 점차 증가하여 (+)값에 가깝게 변화하는 것을 발견하였으며, 돈사의 유형별로 측정되는 ORP값을 토대로 액비의 주입량(순환량)을 조절하는 것이 가능한 것으로 판단됨.



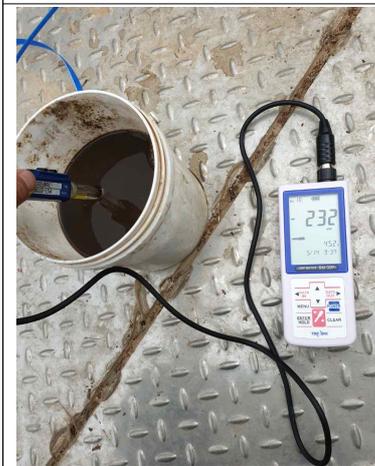
연천 양돈장 집수조 ORP



연천 양돈장 집수조 ORP



부여 양돈장 집수조 ORP



제주 양돈장 집수조 ORP



의령 양돈장 집수조 ORP



연천 양돈장 액비 ORP



의령 양돈장 액비 ORP

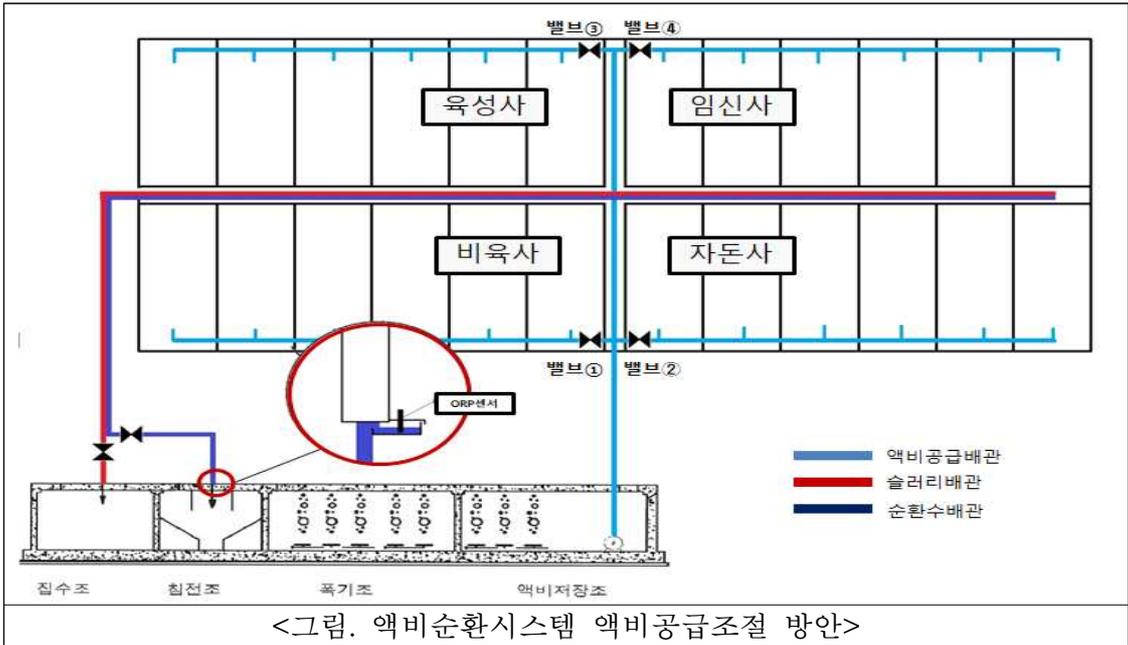


부여 양돈장 액비 ORP

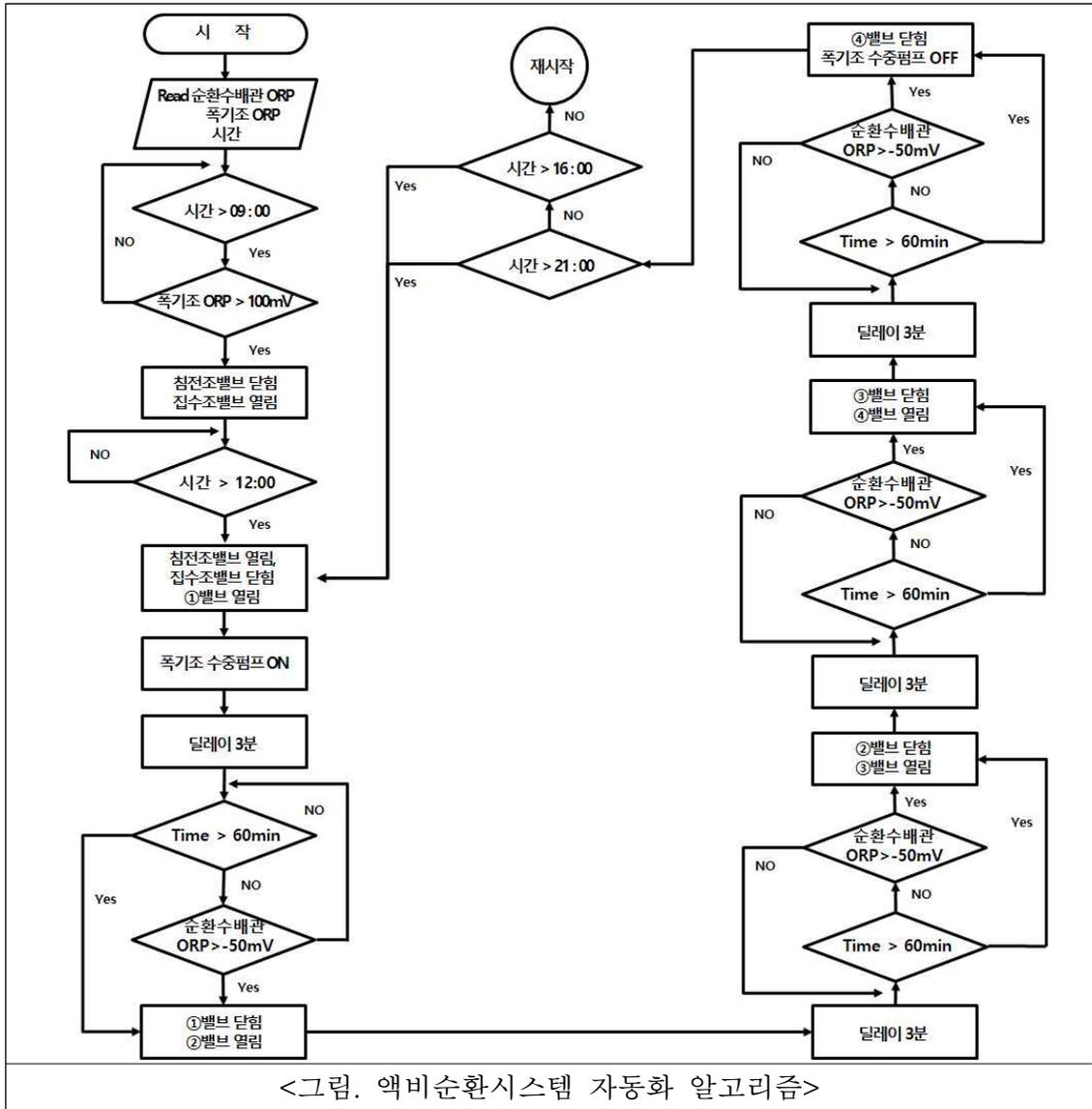


여수 양돈장 액비 ORP

(2) 액비 순환수 농도에 따른 공급조절 방안 제시



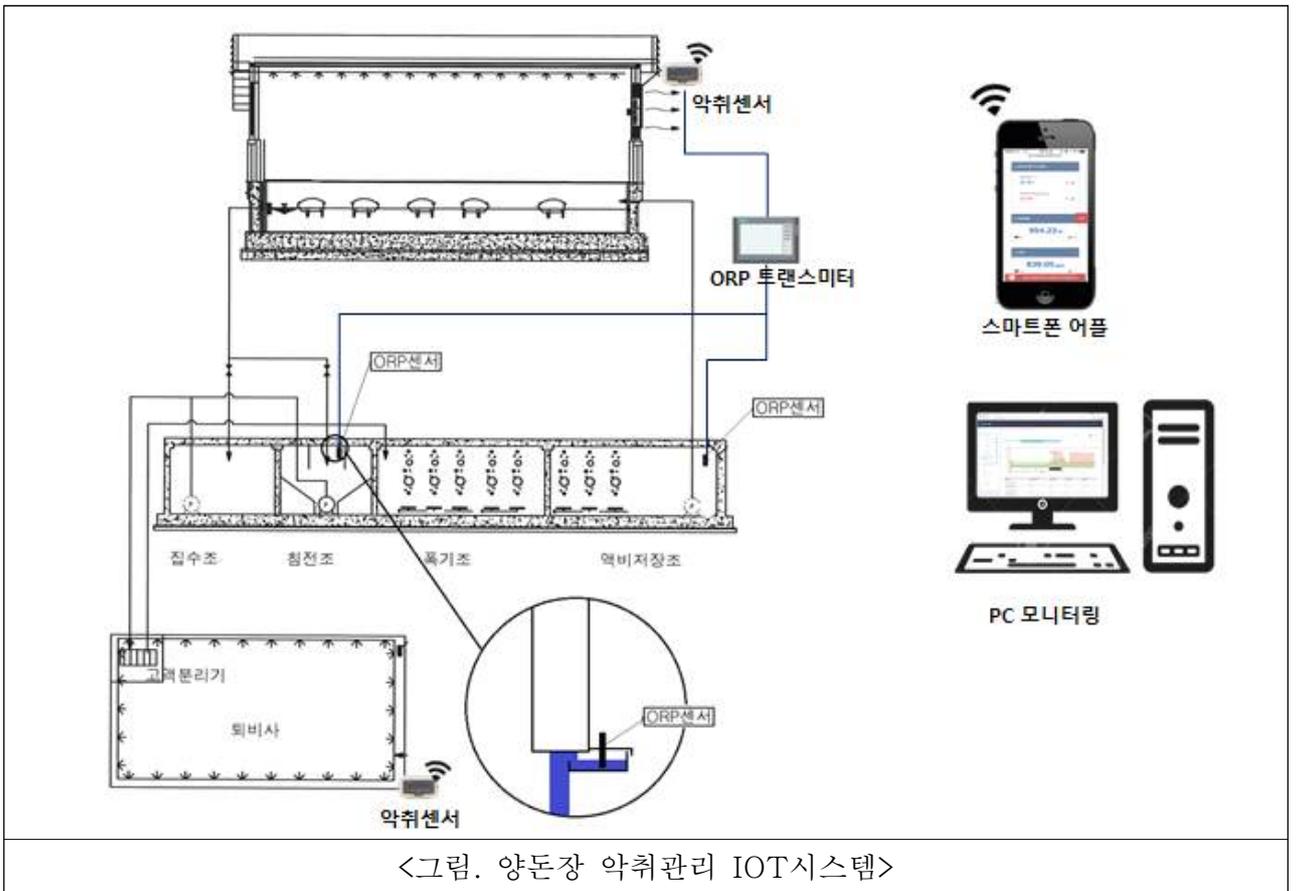
- 액비의 부속 여부와 순환기 때 슬러리 분뇨의 성상 변화를 ORP측정을 통해 확인하며, 순환수 배관에 설치된 ORP센서의 측정값을 이용해 돈사의 유형에 따른 액비의 주입량을 조절함.
- ORP센서의 설치는 순환수 배관이 끝나는 곳에 물이 잠시 일정수위를 머물다 배출될 수 있는 구조물을 만들고, 그 안에 ORP센서를 삽입하는 형태로 구상함.
- ORP센서는 분뇨처리시설에 설치하는 것을 감안하여 내구성이 강한 티타늄 소재(폴리머 전극)의 센서를 설치함.



- 예를 들어, 액비 순환기에 순환수 배관에 설치된 ORP의 측정값이 -50mV 이 되었을 때 순환을 중지하거나 다음 돈사의 액비순환을 시작하도록 설정 한다면. 액비순환이 시작 되었을 때에는 돈사의 유형에 따라 슬러리 피트의 ORP수치가 상이했을 것이나, 액비순환이 끝났을 때에는 모든 돈사의 ORP 가 -50mV의 근사치에 있을 것임.
- 액비순환기동안 A돈사의 ORP 측정치가 설정값(예를들어 -50mV)에 도달 하면 A돈사의 밸브를 잠그고 B돈사의 밸브를 열어 순환을 진행하며, 이때 순환수 배관의 ORP센서는 3분의 딜레이 타임을 설정하여 A돈사의 분뇨가 충분히 빠져나간 후 B돈사의 분뇨를 측정하도록 함.

- 순환수 배관의 ORP센서의 에러나 기타 현장에서 발생할 수 있는 상황으로 인해 ORP제어 순환이 즉각적이 어려울 때를 대비하여 1개 돈사가 60분 이상 액비순환하지 않도록 안전장치를 마련하였음.
- 이와같이 ORP측정을 통해 알아낸 슬러리피트 내 농도에 따라 액비 공급량을 다르게 주입할 수 있음.
- 액비순환시스템 자동화를 실제 농가에 설치하기 위해 노력하였으나, 최근 국내의 아프리카돼지열병과 코로나상황으로 인해 농가섭외에 어려움이 있어 실행하지는 못하였으나 참여기업 (주)에코마이론에서 추후 시험 도입할 예정임.

(2) ICT를 접목한 악취관리시스템



○ 배기 환 악취에 따른 악취저감



<그림. 설치예정 배기환 자동 안개분무 장치>

- 퇴비사나 돈사 배기구를 통해 배출되는 악취는 실시간으로 암모니아와 황화 수소를 측정하여 설정 수치 이상이 측정될 때, 자동으로 악취제거제 안개분무를 실시하고 스마트폰 어플리케이션의 알람을 통해 사용자가 인지할 수 있도록 구성함.
- 악취 측정치는 악취센서에 내장된 무선 와이파이 통신기를 통해 클라우드에 전송·저장되며, 와이파이가 끊기면 데이터를 센서가 임시저장하고 있다가 와이파이가 재연결 되었을 때 클라우드에 전송·저장함.
- 클라우드망에 저장된 악취 측정값은 클라우드 소프트웨어가 설치된 PC를 통해 조회해 볼 수 있음.

라. 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계

(1) 액비순환 설계기술 개발

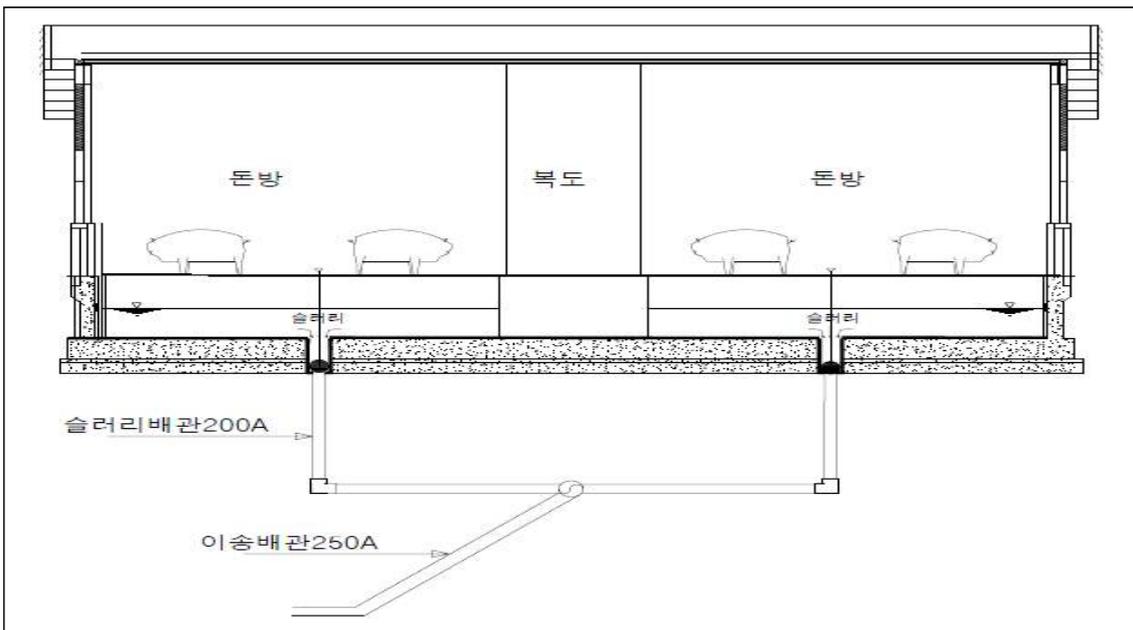
(가) 돈사 슬러리피트

① 슬러리피트 용량 계산식

$$\begin{aligned} \text{돈사면적(m}^2\text{)} &= \text{사육두수(두)} \times \text{사육밀도(m}^2\text{/두)} \\ \text{슬러리피트 용량(m}^3\text{)} &= \text{돈사면적(m}^2\text{)} \times \text{슬러리피트 높이(m)} \end{aligned}$$

② 분뇨배출방식

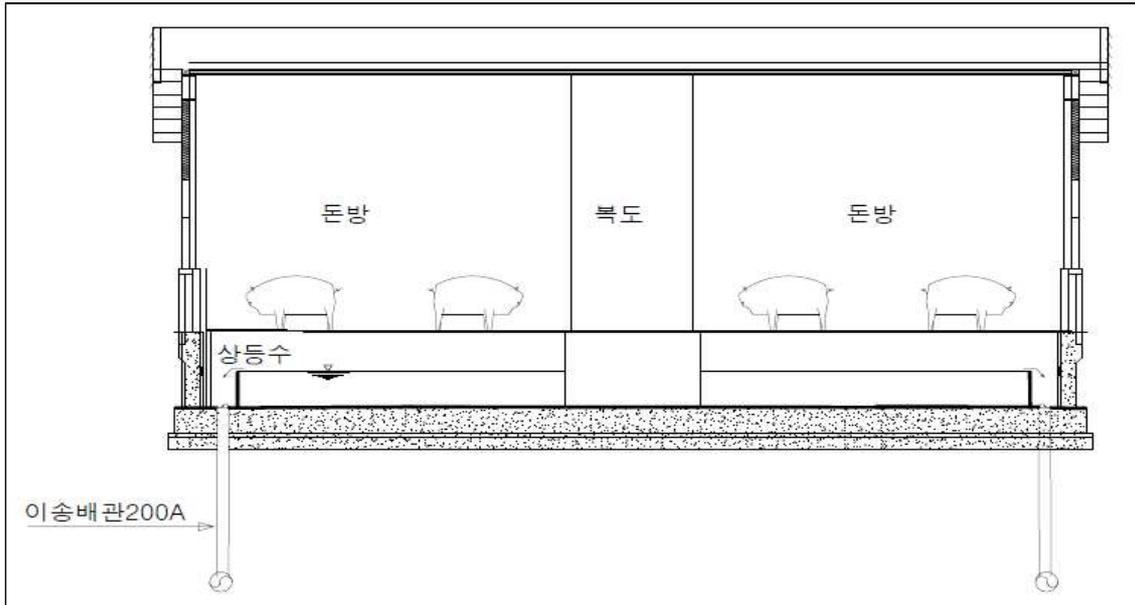
- 슬러리볼 배출방식 : 슬러리볼은 돈사의 슬러리를 저장 또는 배출하기 위해 슬러리 피트 배출구의 구멍을 막아 놓는 둥근 형태의 장치를 말하며, 평상시 슬러리피트의 구멍을 슬러리볼로 폐쇄하여 분뇨를 저장하고, 슬러리 배출시 슬러리볼을 개방하여 분뇨를 배출하는 방식이 슬러리볼 배출방식임.



<그림 6> 슬러리볼 배출방식 모식도

- 펌프 배출방식 : 슬러리피트에 배출구가 없거나 배출구가 고형물로 막혔을 경우 주로 이용하며, 슬러리피트에 액체 펌프를 설치하여 저장조로 배출하는 방식임.

- 월류벽 배출방식 : 슬러리피트 내부에 월류벽을 설치하여 수위가 넘쳤을 때 월류벽에 설치된 배관을 통해 배출되도록 설계된 방식임. 월류벽 방식은 슬러리피트의 수위를 일정하게 유지할 수 있음.



<그림 7> 월류벽 배출방식 모식도

(나) 집수조

- 액비순환시스템의 슬러리피트는 30일(1달)의 주기로 모든 슬러리피트를 순차적으로 비우고, 액비를 주입함. 예를 들어, 60개의 슬러리피트(60개의 돈방)을 보유한 돼지농장 있다면 하루 2개씩 슬러리피트를 전량 배출하고 액비를 채워 넣음. 따라서 집수조의 용량은 매일 배출되는 슬러리피트의 용량을 수용할 수 있는 크기여야함.

① 집수조 용량 계산식

$$\text{집수조 용량(m}^3\text{)} = \text{돈사면적(m}^2\text{)} \times \text{슬러리피트 높이(m)} \div 30(\text{한달}) \times \alpha(\text{안전율})$$

* 유량조정조의 크기는 집수조와 동일하게 계산

(다) 침전조

- 액비순환 시 슬러리피트의 분뇨는 넘쳐서(overflow) 침전조로 배출되며, 집수조의 슬러리도 고액분리된 여액이 침전조로 유입됨. 따라서, 침전조는 고액분리된 집수조 여액과 액비순환 시 배출되는 순환수(일일발생량의 10배)를 수용할 수 있는 크기여야함.

① 침전조 용량계산식

※일일 돼지분뇨발생량 계산

<표 7> 돼지분뇨 배출원단위

구분	분	뇨	세정수	계
돼지 (L/두 · 일)	0.87	1.74	2.49	5.1

자료 : 환경부 2008

$$\text{일일 돼지분뇨발생량(L/일)} = \text{돼지 사육두수(두)} \times 5.1(\text{L/두} \cdot \text{일})$$

- 1침전조 용량 계산식

* 일일분뇨발생량(L/일) : Q

$$[\text{계산식}] \text{ 침전조 용량}(\text{m}^3) = \text{일일분뇨발생량}(Q) \times 11 \times 3/24$$

- 2침전조 용량계산식

* 일일분뇨발생량(L/일) : Q

$$[\text{계산식}] \text{ 침전조 용량}(\text{m}^3) = \text{일일분뇨발생량}(Q) \times 3/24$$

(라) 고액분리기

- 액비순환시스템에서 고액분리기의 설치 유무는 일부 액비순환공법에서 배제시키는 경우도 있으나, 대부분 고액분리공정이 포함됨. 액비순환시스템에서 고액분리는 슬러리의 성상을 낮추는 것으로도 중요하지만, 슬러리피트를 비우는 과정에서 배출된 협잡물을 걸러내는 역할을 하기 때문에 필요한 전처리공정임.
- 고액분리기의 설치은 설계자의 구상에 맞게 효율과 경제성을 고려하여 선택 및 설치하는 것을 권장함.

<표 8> 고액분리별 물질성상 변화 요약표

unit : %

항목	BOD	TS	SS	T-N	T-P	함수율
벨트프레스(약주)	66	79	97	41	91	76.4
스크류프레스(무약주)	4	15	9	3	10	66
데칸터(약주)	54	72	92	36	95	72
데칸터(무약주)	5	22	34	7	60	68
드럼스크린 +스크류프레스(무약주)	7	13	15	8	13	69
경사스크린 +스크류프레스(무약주)	10	15	11	10	21	74
진동스크린 +스크류프레스(무약주)	15	23	24	13	9	73.2

자료 : 대한한돈협회 2018

(마) 폭기조

- 액비순환시스템은 액비 제조가 가장 중요하며, 미부숙·중숙 액비가 아닌 반드시 부숙 액비로 순환함.

① 폭기조 용량

- 적정 폭기조 용량 계산식

$$\text{폭기조 용량(m}^3\text{)} = Q \times 30$$

- F/M비 기준 적정 폭기조 용량 계산식

* 일일 분뇨발생량 : Q (m³/일)
 * F/M비 : 0.12 (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)
 * BOD : 22,000 mg/ℓ (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)
 * MLSS : 8,000 mg/ℓ (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)

[계산식] 폭기조 용량 = (BOD×Q) ÷ (F/M비×MLSS)

② 폭기량

- 폭기조 필요공기량 계산식

* 폭기조 용량 : V
 * 폭기조 단위 용량당 필요공기량 : 0.03 m³ air/min · m³
 (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)

[계산식] 폭기조 필요공기량 = 0.03m³ air/min · m³ × V

- 폭기조 산소요구량에 따른 공기공급량 계산식

BOD산화에 필요한 산소량(OD1) = 0.5 × BOD 제거량 × Q × 10⁻³
 내생호흡에 필요한 산소량(OD2) = 0.1 × V × MLSS × 10⁻³
 질산화에 필요한 산소량(OD3) = 4.6 × 암모니아 제거량 × Q × 10⁻³

폭기조 필요공기량(m³-air/min) = (OD1+OD2+OD3) × 22.4/32 × 100/21 × 100/10 ÷ 1440

- * V : 폭기조 용량
- * Q : 일일 분뇨발생량(L/일)

③ 산기장치

- 산기장치 계산방법

$$\text{산기장치(개)} = \text{공기공급량} \div a$$

* a : 산기장치 산기량(m³/min)

(바) 액비저장조

- 액비저장조는 방류정화시설 전의 액비의 한시적 저장 또는 액비살포·반출 전의 장기적 저장으로 목적이 나뉜다. 방류정화시설 전 저장의 목적으로 설계할 경우 저장조의 크기가 클 필요는 없지만, 살포·반출 전 장기적 저장을 목적으로 설계할 경우 충분한 용량을 확보해야함.
- ‘가축분뇨 자원화시설 표준설계도’의 호기액비화시설 세부구조 및 규격에 따르면 “축사내의 피트, 집수조, 호기액비화조, 액비저장조를 합하여, 처리일수 180일 이상”으로 권장하고 있음.
- 액비저장조는 시설부지의 크기와 모양 및 정화 처리시설의 유무에 따라 유동적으로 설계하는 것을 권장함.

① 액비저장조 용량계산식

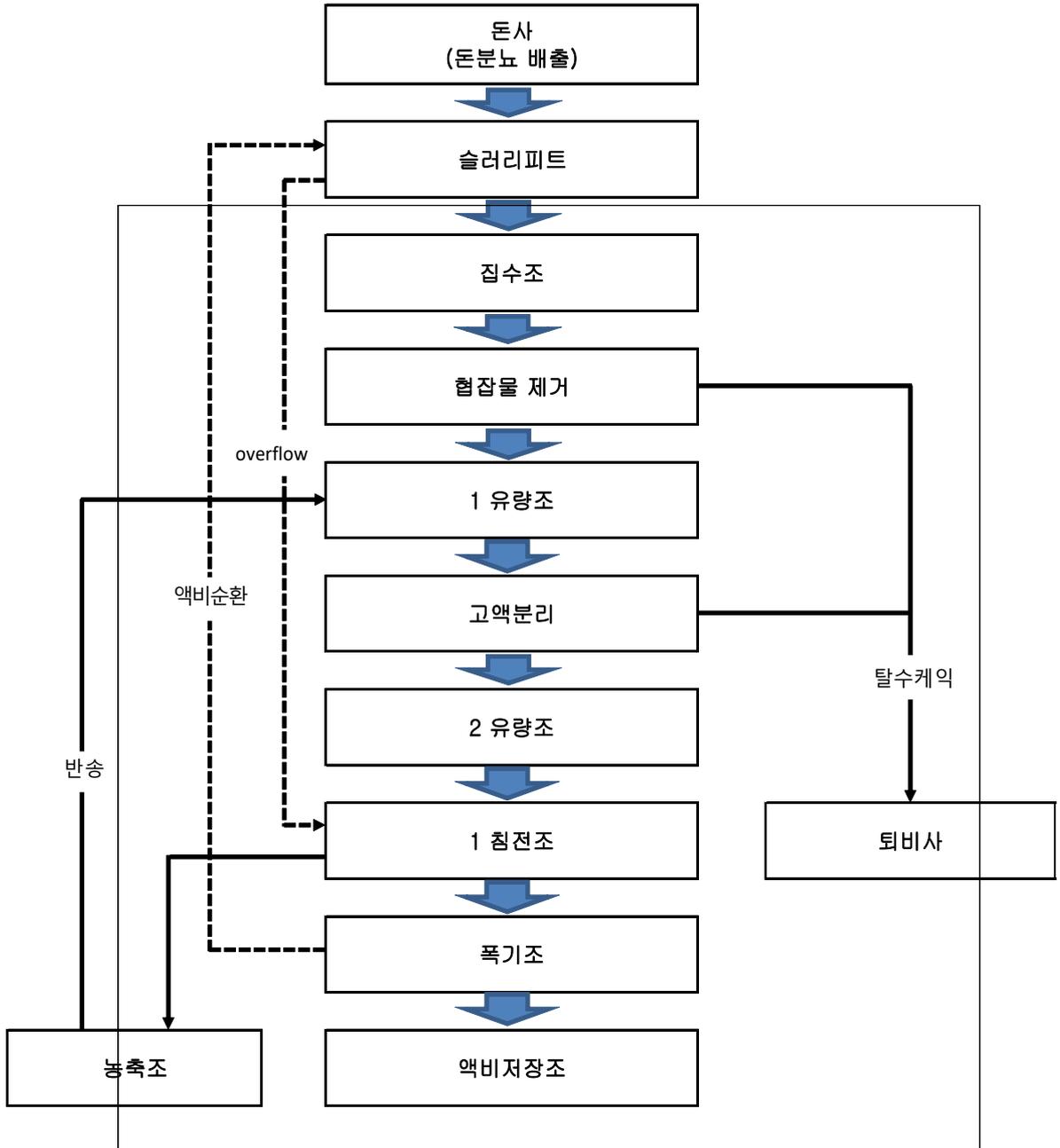
- 방류정화 목적 액비저장조

$$\text{* 액비저장조 용량} = \text{일일분뇨발생량(L/일)} \times 7\text{일}$$

- 살포·반출 목적 액비저장조

$$\text{* 액비저장조 용량} = \text{일일분뇨발생량(m}^3\text{/일)} \times 180\text{일} - (\text{슬러리피트 용량} + \text{집수조 용량} + \text{유량조정조 용량} + \text{침전조 용량} + \text{폭기조 용량})(\text{m}^3)$$

(사) 액비순환시스템 공정도

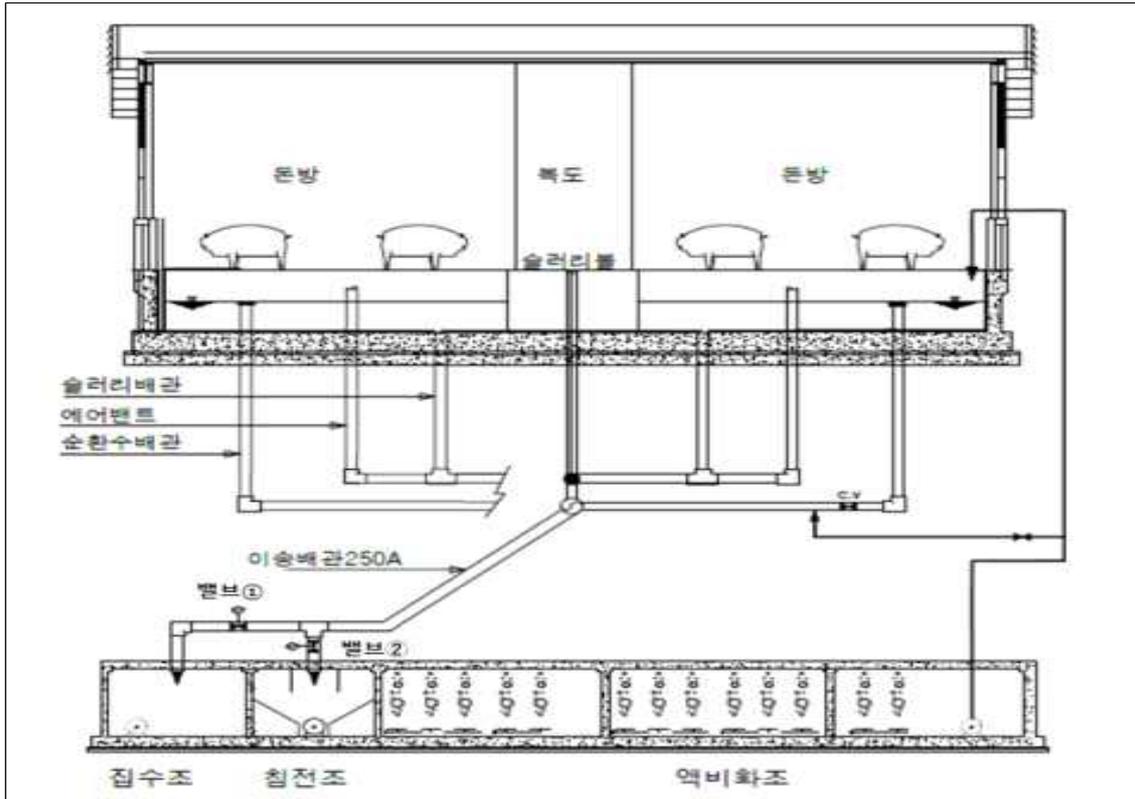


<그림 8> 액비순환시스템 공정도

(2) 액비순환시스템 운영방법

(가) 액비 순환방법

① 슬러리 돈사의 배출방법



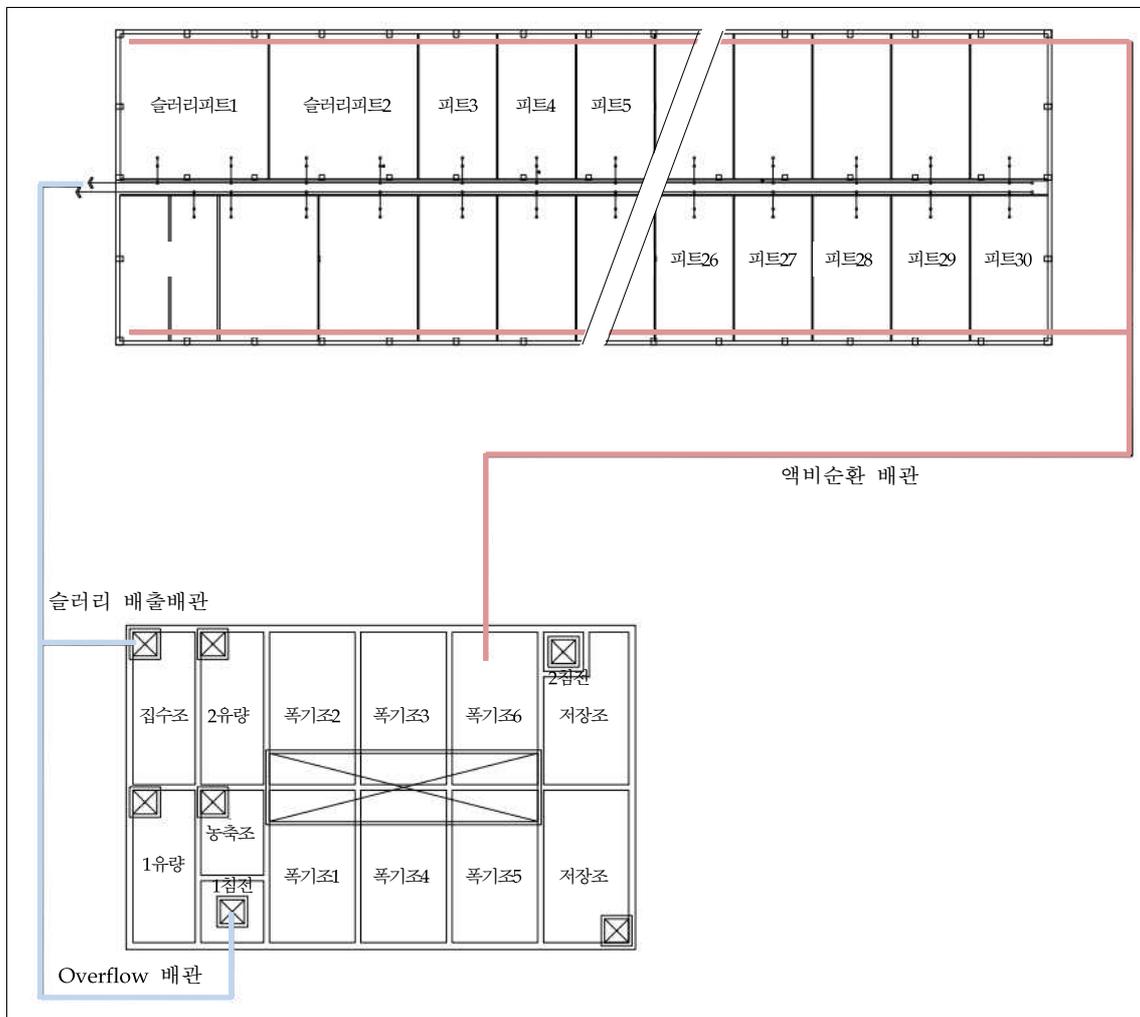
<그림 9> 액비순환시설 분뇨배출 배관

- 액비순환은 하루 중 액비순환을 하지 않는 비순환기와 액비순환이 진행되는 순환기로 나누며, 돈사의 슬러리피트는 항상 냄새가 나지않는 부숙액비로 채움.
- 순환기와 비순환기에 분뇨가 배출되는 저장조를 각각 다르게 두고 액비화 처리를 진행 하는데, 비순환기에는 돼지가 배설하여 overflow되는 분뇨를 순환수배관을 통해 침전조로 보내고, 순환기에는 슬러리 볼을 열어 슬러리배관을 통해 피트 내의 모든 분뇨를 집수조로 보냄.
- 슬러리 배관을 통해 배출된 분뇨는 협잡물 제거 전처리와 고액분리공정 이후 침전조로 유입시키며, 침전조에 유입된 분뇨들은 폭기조로 overflow 됨.
- 액비는 모든 돈사에 매일1회씩 순환하고, 돈사 슬러리 피트의 all-out/all-in은 모든 돈사에 매달1회 진행함. 이때, 그날그날 어떤 돈사의 슬러리피트를 all-out/all-in 할지는 액비순환 운전자가 판단하도록 함.

- 슬러리 돈사 배출방법에 대한 순서

- ㉠ 액비 비순환기, 밸브1을 닫고, 밸브2를 개방
- ㉡ 슬러리피트의 overflow된 분뇨가 순환수배관을 통해 침전조 내통으로 배출
- ㉢ 액비 순환기, 밸브1을 개방, 밸브2를 닫음
- ㉣ 액비순환 운전자가 원하는 돈사의 슬러리볼을 개방
- ㉤ 슬러리피트 내의 분뇨가 슬러리배관을 통해 집수조로 배출
- ㉥ 배출이 끝난 후 슬러리볼을 닫고, 밸브1을 닫고, 밸브2를 열어 슬러리피트에 액비를 공급함.

② 돈사의 액비 공급방법



<그림 10> 액비순환시설 액비공급 배관

- 슬러리피트에 액비를 공급하기 전에 슬러리피트 내의 분뇨를 all-out 시키는 작업을 먼저 진행하도록 함.

- 액비의 공급은 액비저장조의 펌프를 통해 주입되며, 어떤 돈사로 보낼지는 돈사와 연결된 밸브를 통해 조절함. 이때, 슬러리피트를 all-out시킨 돈사의 경우 슬러리 피트가 액비로 가득 채워질 때까지 액비를 공급함.
- 만약 오늘 1개 돈방의 슬러리피트를 all-out 시켰다고 가정시,
 - ㉠ 슬러리배출이 완료
 - ㉡ 액비공급을 시작
 - ㉢ all-out시킨 1개 돈방이 가득 채워질 때까지 액비를 주입
 - ㉣ 액비가 가득차면 다음 슬러리피트에 액비주입(10Q)
 - ㉤ 액비를 주입(이때, 주입된 액비로 인해 overflow된 분뇨는 침전조로 배출)

(나) 액비순환 단계별 운영방법

① 슬러리피트 운영

- 슬러리피트 높이는 0.4m를 권장함.
- 슬러리피트 'all in - all out' (1달 주기) : 액비순환시스템에서 슬러리피트 'all in - all out'을 하는 이유는 슬러리피트의 사각지대를 최대한 배제시키기 위함임. 분뇨가 차있는 슬러리피트 액비를 주입하더라도 액비가 입출되는 방향을 제외한 사각지대가 생기기 마련임. 단순 분뇨를 저장하는 슬러리피트는 표면에 스킴층이 형성되어 악취가 올라오지 못하고 해충알이 부화하지 못하지만, 이러한 액비순환의 사각지대는 오히려 여름철 악취와 병충해 피해를 더 유발시킬 수 있음. 따라서 한달을 주기로 순환하는 모든 슬러리피트를 비워주어 액비순환의 사각지대를 최대한 없애는 것을 권장함.

② 집수조 운영

- 슬러리 배출은 오전시간에 하는 것을 권장. 액비순환은 슬러리배출의 과정이 선행되어야 함. 집수조의 슬러지를 고액분리(협잡물제거) 시간과 액비를 순환하는 시간을 고려하였을 때, 고액분리(협잡물 제거) 시간은 오전 6시간 이내에 이루어져야하며, 오후에서 퇴근시간 전까지 액비순환을 완료하는 것을 권장함.
- 교반장치를 설치 : 고액분리기(시브스크린)을 가동하여 협잡물 제거 시, 교반기를 가동하여 침지물이 가라앉지 않고 균일한 농도의 슬러리가 처리될수 있도록 하는 것을 권장함.

③ 침전조 운영

- 침전조 하부에 모이는 침전물은 분뇨발생량의 대략 20%에 해당하는 양이며, 집수조 또는 유량조정조로 반송하여 재차 고액 분리하는 것이 좋음. 이때, 이송펌프는 타이머 기능이 있는 펌프를 사용하는 것을 권장함. 일반펌프로 침전물을 한번에 이송하면, 흡입된 침전물의 빈 공간을 따라 상등수가 함께 유입되며, 이로인해 예상한 반송량 보다

많은 양의 침전물을 반송해야하거나 침전물이 제대로 반송되지 않는 경우가 발생함. 그러므로 타이머 기능이 있는 펌프를 이용하여 여러번 나누어서 반송을 진행하는 것을 권장함.

④ 폭기조 운영

- 선입선출 구조 : 폭기조는 먼저 유입(선입) 된 액비가 먼저 나갈(선출) 수 있도록 4단 이상의 폭기조로 나누는 칸막이를 설치하는 것을 권장함.
- 여름철 액비순환 : 대기 온도가 지나치게 높은 여름철에 액비의 온도가 40℃ 이상으로 높아지면 순환량을 늘리는 것을 권장함. 슬러리피트 내의 액비의 온도가 상대적으로 낮기 때문에 액비화조의 온도를 낮출 수 있음.
- 브로워 선택

폭기조 용량계산 → 공기공급량 계산 → 브로워 선택 → 산기관 선택

- 앞서 제시한 계산법대로 폭기조의 용량을 계산하고, 필요공기공급량을 계산하였다면, 이를 바탕으로 브로워를 선택해야함. 그러나 브로워 선정에 있어서 간과하고 지나칠 수 있는 부분이 압력손실을 고려하지 않고 선택하는 경우가 있음. 이는 실질적인 공기공급 효율을 감소시킬 수 있음. 따라서 브로워를 선택할 때, 폭기조의 깊이 4m의 압력손실 4,000mmAq와 배관의 곡관압력손실을 고려해야함.
- 브로워 A

장비명	Speed (rpm)	Suction air volume Qs (m ³ /min)					
		0.1kg/cm ² (9.8kPa)	0.2kg/cm ² (29.4kPa)	0.3kg/cm ² (29.4kPa)	0.4kg/cm ² (39.2kPa)	0.5kg/cm ² (49.0kPa)	0.6kg/cm ² (58.8kPa)
A	1,240	1.46	1.26	1.12	0.99	0.86	0.72
	1,450	1.79	1.58	1.42	1.27	1.12	1.00
	1,750	2.25	2.03	1.87	1.72	1.57	1.45
	2,100	2.84	2.58	2.40	2.23	2.05	1.91

※ kg/cm² = 10,000mmAq

- 위의 표에서 브로워A의 올바른 제원을 선택할 때, 수심 4m의 압력손실이 0.4kg/cm²와 곡관압력손실 0.1kg/cm²를 고려하여, 0.5kg/cm²의 열에서 알맞은 공기공급량의 제원을 선택함.
- 산기관 선택 : 산기관은 산소전달 효율과 내구성을 고려하여 선택하는 것이 좋음. 산소 효율만을 고려하여 지름이 큰 멤브레인 필터를 선택하게 되면, 멤브레인 필터의 탄력이 감소하고 울퉁불퉁해지는 등 모양이 변하여 오히려 산소전달효율이 떨어지게 됨. 따라서 산소전달효율과 내구성을 동시에 고려하여 설치하는 것을 권장함. 또한 산기관거리의 간격이 멀어지면, 산기관 사이에 사각지대가 생겨 슬러지가 가라앉게 됨, 따라서 산기관 사이의 간격을 1m 이내로 설치하는 것을 권장함.

⑤ 액비순환시스템 설치전략

- 양돈장의 액비순환 적용이 어려운 이유는 여러가지가 있겠지만, 가장 중요한 요인은 순환할 수 있는 부숙액비를 제조하고 이를 365일 유지할 수 있는 폭기조 상태를 만드는 것임. 부숙액비의 제조 및 유지는 처리시설의 운영도 중요하겠지만, 근본적으로 양돈장의 분뇨를 수용할 수 있는 분뇨처리시설의 설치도 중요함.
- 분뇨처리시설의 용량은 가능한 큰 것이 좋지만, 과도한 설계는 설치비 뿐만아니라 액비순환 운영비용도 큰 부담으로 작용할 수 있음. 따라서, 제시된 설계방법 및 용량에서 과잉 설계하지 않고 적정용량, 적정 공기공급량, 적합한 산기관 및 브로워를 선택하여 설치하는 것이 액비순환시스템의 올바른 설치 및 가격인하 전략임.

(3) 액비순환시스템 설계 예시

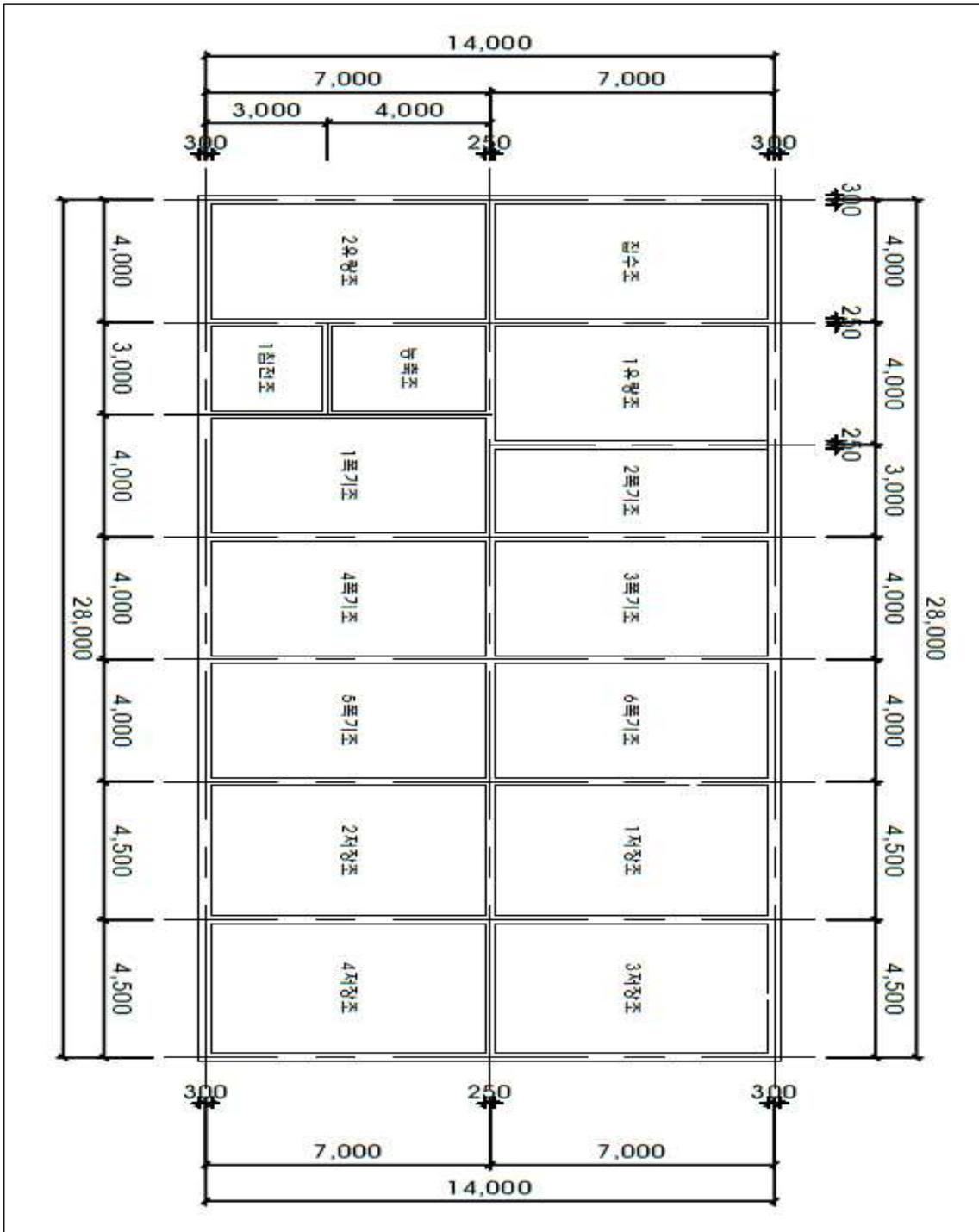
(가) 설치조건

돈사면적	5,460m ²
슬러리피트 높이	0.4m
사육두수	3,900두
일일발생분뇨량	20m ³ /d

(나) 액비순환 용량계산

- 집수조용량	$5,460 \times 0.4 \div 30 \times 1.4$	= 102m ³
- 1침전조	$20 \times 11 \times 3/24$	= 27.5m ³
- 폭기조	20×30	= 600m ³
- 액비저장조	$20 \times 180 - (2,184+102+102+102+27.5+3.3+600)$	= 479.5m ³
- 공기공급량①	0.03×600	= 18m ³ /min
- 공기공급량②	$0.5 \times (1,640-640) \times 20 \times 10^{-3}$	= 10kgO ₂ /d
OD1	$0.1 \times 600 \times 8,000 \times 10^{-3}$	= 480kgO ₂ /d
OD2	$4.6 \times (400-170) \times 20 \times 10^{-3}$	=
OD3	$(10+480+21.2) \times 22.4/32 \times 100/21 \times 100/10 \div 1,440$	= 21.2kgO ₂ /d
- 산기장치	$18 \div 0.1 \sim 0.2$	= 90~180개

(다) 처리시설 평면도(예시)



<그림 11> 처리시설 평면도(예시 * W14,000 × D28,000 × H4,000)

가. 양돈장 악취물질 배출 수준 평가

(1) 현장조사

- 현장조사의 경우 여주 ㄱ농장, 경산 ㄹ농장, 경산 ㅋ농장, 경산 ㄷ농장, 의령 ㅂ농장, 안성 ㄴ농장, 전남 ㄷ농장, 부여 ㅇ농장과 홍성 ㅈ농장을 대상으로 실시함. 조사 농장은 액비화 시설 제조기술의 유형에 따라 구분함. 구분된 농장을 대상으로 피트 슬러리 특성(피트 슬러리 내부 슬러지 높이) 조사를 실시하였는데, 이는 피트 슬러리 하부에 침전되는 슬러지가 악취원으로서 역할을 할 수 있으며, 액비순환시스템 적용 유무가 피트 슬러리 내 슬러지 침전량에 영향을 끼치는지 확인하기 위하여 진행됨.
- 차후 조사 농장 중 4개 농장을 대상으로 한 내부 용적 및 환기량 조사함. 돈분뇨 처리 시 악취유발물질은 돈사 및 액비화 처리 중 자연적으로 휘산되거나, 환기를 통하여 대기중으로 방출되기에 각 돈사의 환기량을 확인하는 것은 배출량 설정에 있어 도움이 됨. 해당 조사 완료 후 악취관능법을 통한 악취 평가와 현장 악취(H₂S, NH₃, NO_x, SO_x) 농도, 내부 분진 측정을 통하여 주요 현장 악취를 평가함.

(가) 조사 농장 분류 및 연구방법

<표 1. 농장별 측정 데이터 분류 및 액비화 시설 제조기술 가동 여부>

농장명		측정대상	비고
A 유형	안성 ㄱ농장	pH, EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사, 암모니아(NH ₃) 배출량	액비순환시스템 가동
	안성 ㄴ농장	돈사 내부 용적 조사 및 환기량 조사, 내부 NH ₃ , NO _x , H ₂ S 농도 분석, 내부 분진 분석(TSP, PMcoarse, PM10/2.5), pH, EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사, 미생물 군집 분석, 챔버를 이용한 암모니아(NH ₃) 배출량	액비순환시스템 가동
B 유형	경산 ㄷ농장	내부 NH ₃ , H ₂ S 농도 분석, pH, EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사	액비순환시스템 가동
	전남 ㄷ농장	돈사 내부 용적 조사 및 환기량 조사, pH, EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사, 챔버를 이용한 암모니아(NH ₃) 배출량	액비순환시스템 가동
C 유형	경산 ㄹ농장	슬러리 높이 조사, 내부 NH ₃ , H ₂ S 농도 분석, pH(액비), TKN(액비), TAN(액비) 분석,	액비순환시스템 미가동
	의령 ㅂ농장	내부 NH ₃ 농도 분석, pH, TKN, TAN 분석	액비순환시스템 미가동
	여주 ㄱ농장	슬러리 높이 조사, 내부 NH ₃ , H ₂ S 농도 분석, TKN, TAN 분석	액비순환시스템 가동
	부여 ㅇ농장	돈사 내부 용적 조사 및 환기량 조사, pH,	액비순환시스템 가동

		EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사, 챔버를 이용한 암모니아(NH ₃) 배출량	
D 유형	연천 사농장	pH, EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사	액비순환시스템 가동
	홍성 사농장	돈사 내부 용적 조사 및 환기량 조사, pH, EC, BOD, SS, TKN, TAN, TP와 부속도 검사, 미생물 군집 분석, 챔버를 이용한 암모니아(NH ₃) 배출량	액비순환시스템 가동
-	경산 사농장	슬러리 높이 조사, 내부 NH ₃ , H ₂ S 농도 분석	위탁처리

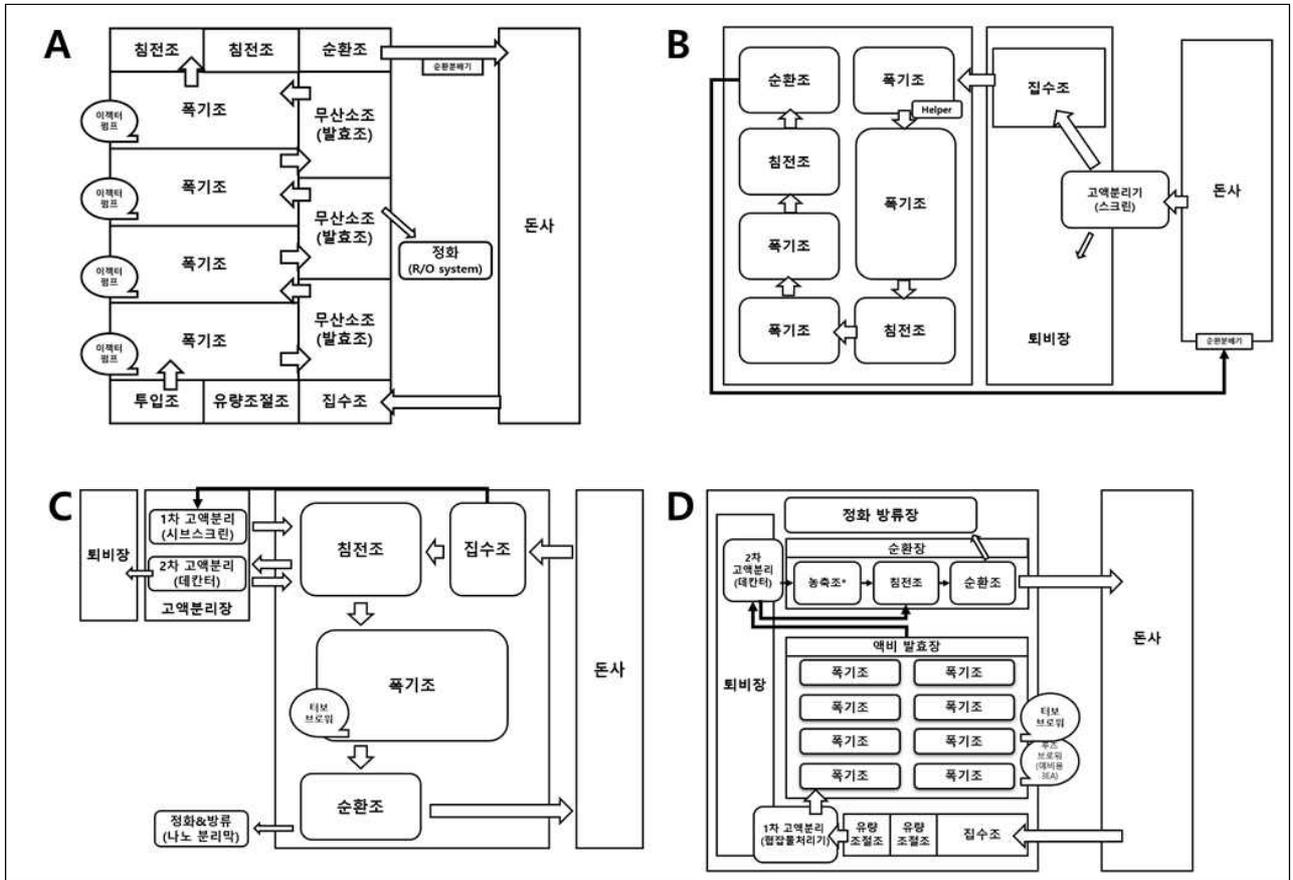
<표 2. 데이터 측정 방법>

측정대상	측정방법		비고
돈사 내부 슬러리 높이	직접 측정 (눈금이 그려진 1m 막대 사용)		현장 분석
돈사 내부 용적	간접 측정 (농장주 구두 조사 및 표준설계도 (국토교통부 공고 제 2016-1285호, 2016/2017년 축사 표준설계(돈사), 도면번호 A2-01~09, A3-01~10) 사용)		
돈사 내부 환기량	간접 측정 (돈사 내 환기량 자동조절기, MWPS-8에 의거하여 계산)		
악취 분석	내부 NH ₃ 농도 분석	실시간 연속 분석 (INNOVA 1403, INNOVA 1512), GV-100s	
	내부 H ₂ S 농도 분석	GV-100s	
	내부 분진 분석 (TSP, PMcoarse, PM10/2.5)	광산란입자분석기 (OPC)	
	공기희석관능법 (대기오염공정시험기준)		
pH 및 EC	pH, EC 미터기 사용 (U.S. EPA Method 9040D, 9050A)		슬러리 및 액비 특성 조사
TKN	킬달중류법 (U.S. EPA Method 350.2)		
TAN	킬달중류법 (U.S. EPA Method 350.2)		
BOD	수질오염공정시험기준 (ES 04305.1c)		
SS	수질오염공정시험기준 (ES 04303.1b)		
TP	수질오염공정시험기준 (ES 04362.0)		
부속도	중자발아법 (환경부 고시)		
미생물 군집	(rRNA 16s 염기서열 분석, 천랩)		
암모니아(NH ₃) 배출량	챔버 포화법		챔버 활용 암모니아 배출량 조사
	챔버 전량포집법		

- 액비순환시스템에 대한 악취저감 및 환경개선 효과 평가를 위하여 현장 조사를 실시함. 11개의 농가를 대상으로 실시하였으며, 측정 데이터와 액비화 시설 제조기술의 *유형

에 따라 구분함.(봉무농장은 위탁처리 농장으로 제외함.)

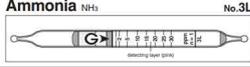
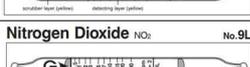
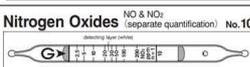
- 유형에 따라 구분된 농장 중 액비순환시스템이 적용된 농장(△농장, □농장)과 적용되지 않은 농장(▽농장)을 대상으로 돈사 피트 슬러리 내 슬러지의 축적량에 대한 조사를 실시함. 1cm 간격의 눈금을 새긴 1m 길이의 막대를 이용하여 돈방 슬러리 배출 후, 남은 슬러지의 높이를 측정함.
- 액비순환시스템이 적용된 4개의 농장(ㄴ농장, ㄹ농장, ㄷ농장, ㄷ농장)의 돈사 용적 및 환기팬의 용량을 조사하여 환기량을 계산함. 각 양돈장 돈사의 환기량은 돈사 내 온도에 따른 환기량(%)이 연동되는 환기량 자동조절기가 적용됨. 각 농장은 모두 계절별 환기팬의 가동 용량 및 돈사의 설계(폭, 너비)가 다름. 농장주와의 구두조사 결과, 박공형 지붕이 설치되어 돈방의 높이는 확인하였지만 돈사의 높이에 대한 정보는 제한되었으며, 일부 농장의 경우 환기량에 대한 정보 또한 제한적임.
- 돈사의 내부 용적을 계산하기 위하여 높이는 측사 표준 설계도에 의거하여 일괄적으로 계산되었으며, 환기량 정보가 제한된 경우 미국 증서부 돈사 표준서인 The Swine Housing and Equipment Handbook (MWPS-8, 1988) 의거하여 평균적인 환기량을 계산함.
- 액비순환시스템 적용 돈사의 현장 악취 평가는 암모니아(NH_3), 분진($\text{PM}_{\text{coarse}}(10-2.5)$, $\text{PM}_{2.5/10-IAQ}$), Total Suspended Solid: TSP), 황화수소(H_2S), 질소산화물(NO_x)으로 총 4개 항목에 대한 평가를 실시함. NH_3 분석은 가스택 휴대용 가스 검지기(Gas sampling pump, GV-100s)와 광음향가스모니터(INNOVA1512, LumaSense Co. Ltd)를 활용하여 측정함(그림 5, 8). 가스택 검지기를 사용한 NH_3 농도 측정의 경우 돈사 내부 중앙에서, 성인남자 가슴높이에서 3반복 측정을 하였으며, 다양한 검출 농도 범위의 검지관을 사용함(그림 5, 6).
- 돈사 내·외부 NH_3 측정은 다중채널 샘플러(INNOVA1403, Lumasense Co. Ltd.)에 테플론 튜빙(Teflon tubing)을 연결하여 공기샘플을 취하였으며, INNOVA1512로 이동시켜 실시간 연속분석을 진행함(그림 7, 8). 광음향효과(Photoacoustic effect)는 특정물질이 빛을 흡수하여 나타나는 압력의 변화를 감지하여 측정을 함. 높은 정확도를 보유하며, 챔버 내 NH_3 포화농도 도달 실험(2차년도 수행)을 통해 설정 농도값에 대한 측정산출 확인을 반복하였으며, 가스택 휴대용 가스 검지기와의 비교하여 측정의 정확성을 확인함.
- $\text{PM}_{2.5/10/Coarse}(10-2.5)$ 과 TSP는 광산란입자분석기(Optical Particle Counter, Model 11-D, The Dust Decoder, GRIMM Aerosol, GRIMM Technologies Inc., USA, OPC)를 이용하여 연속적으로 측정함(그림 10). H_2S 와 NO_x 는 가스택 검지기를 이용하여 평가함. 가스택 검지기를 활용한 평가 시 검출 한계치를 최소화하여 신뢰도 높은 측정값을 확보하기 위해 다양한 검출농도 범위의 검지관을 사용함(그림 6).



<그림 4. 액비순환시스템 유형별 공정도>



<그림 5. 가스텍 휴대용 가스 검지기 (Gas sampling pump, GV-100s)>

	Tube no. & name		Measuring range (ppm)	Scale range (ppm)
 Ammonia NH ₃ No.3L	3L	NH ₃	0.5-78	(1)-30
 Ammonia NH ₃ No.3LA	3LA	NH ₃	2.5-200	5-100
 Ammonia NH ₃ No.3M	3M	NH ₃	10-1,000	50-500
 Hydrogen Sulphide H ₂ S No.4LT	4LT	H ₂ S	0.05-4.0	(0.1)-2.0
 Nitrogen Dioxide NO ₂ No.9L	9L	NO ₂	0.5-125	0.5-30
 NO & NO ₂ (separate quantification) No.10	10	NO&NO ₂	2.5-200	5-200

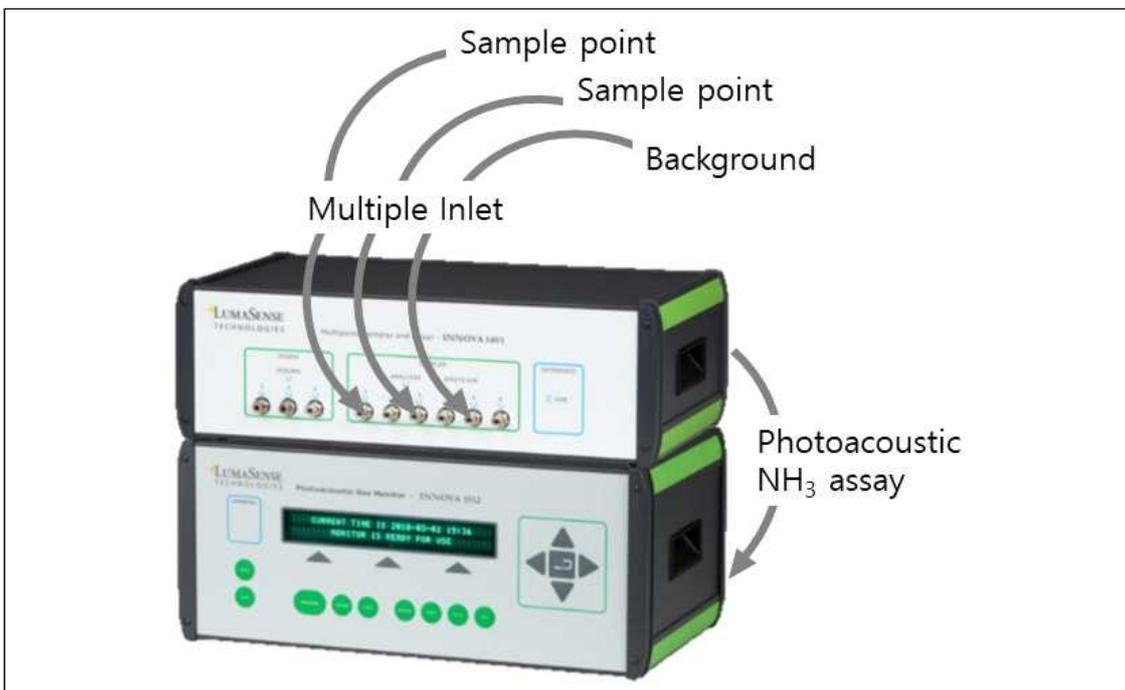
<그림 6. 가스텍 휴대용 가스 검지기 검지관(Detector tube) 측정 범위>



<그림 7. 다중 샘플러 및 도저(INNOVA1403 LumaSense Co. Ltd) 사진>



<그림 8. 광음향가스모니터(INNOVA1512 LumaSense Co. Ltd) 사진>

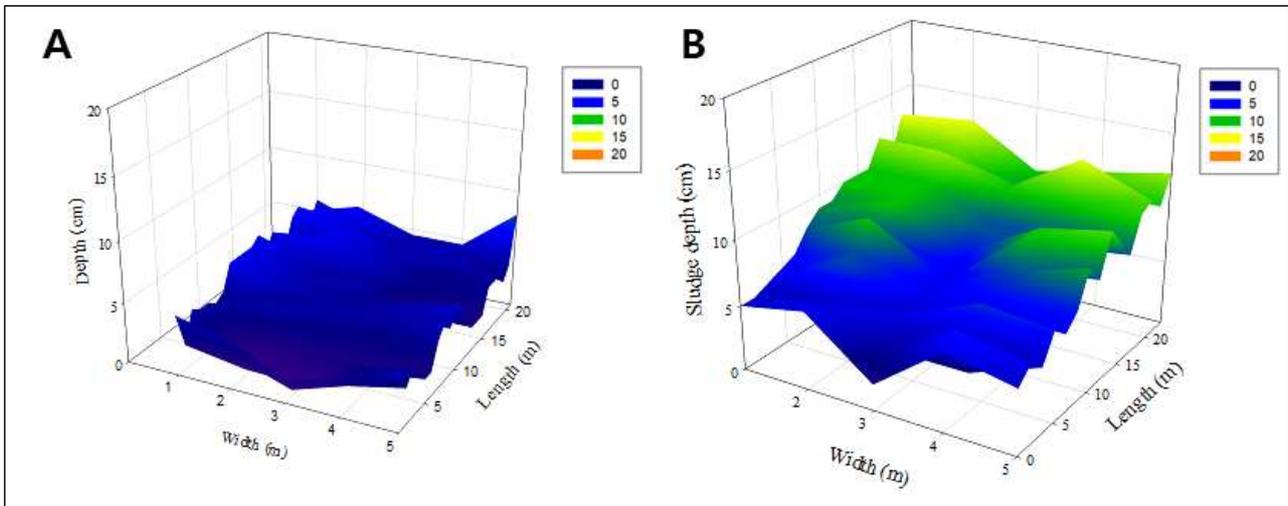


<그림 9. 돈사 내·외부 암모니아 측정을 위한 INNOVA1403 및 INNOVA1512 장치 연결 모식도>



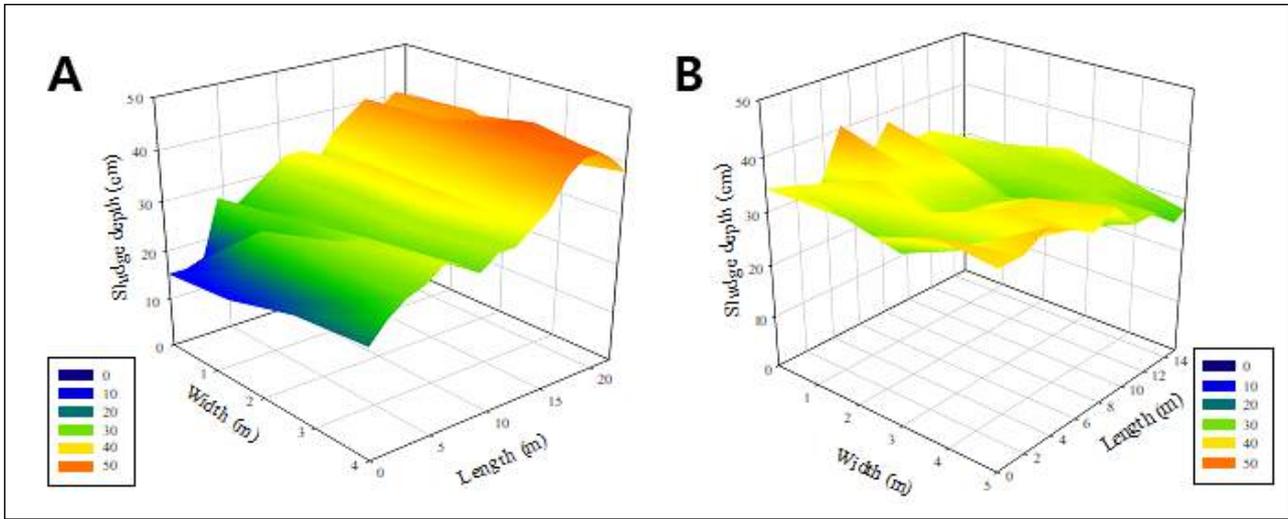
<그림 10. 광산란입자분석기 (Model 11-D The Dust Decoder, GRIMM Aerosol Technik) 그림>

(2) 현장 양돈장 슬러리피트 내 슬러리 높이 조사



<그림 11. 여주 사농장 돈사의 액비순환시스템 가동 유무별 슬러리피트 내 슬러지 높이 현황, A: 액비순환시스템 미가동 B: 액비순환시스템 가동>

- 여주 사농장의 경우 액비순환시스템이 적용된 돈사와 미적용된 돈사를 확인함. 각 돈사 피트 슬러리의 깊이는 총 60 cm 였으며, 슬러리를 배출한 이후에 슬러지 높이를 측정한 결과 아직 액비순환을 가동하지 않은 돈사의 슬러지 높이는 평균 3.9 cm 로, 액비순환을 가동 중인 돈사의 평균 슬러지 높이인 8.3 cm 보다 낮음.
- 두 돈사의 크기와 비육돈의 밀도는 유사하였으나 액비순환 가동 돈사의 슬러지 평균 높이가 높은 이유는 액비순환 가동 돈사는 출하 2일 전에 측정한 것으로 상대적으로 슬러지 체류시간이 길었던 것과, 비육돈의 중량에도 평균 10~15 kg 이상 차이가 나서 그만큼 분뇨의 양에도 차이가 있었음에 기인한 것으로 판단됨.



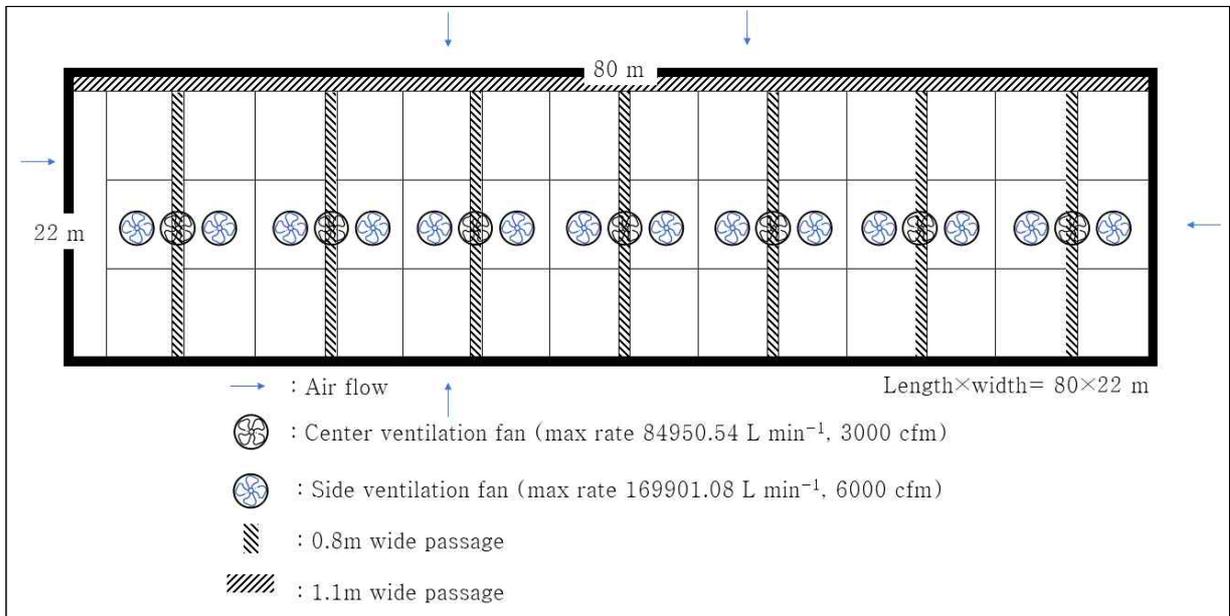
<그림 12. 경산지역 양돈장 비육돈사의 액비순환시스템 가동 유무별 슬러리피트 내 슬러지 높이 현황, A: ㄱ농장(액비순환시스템 가동), B: ㅋ농장(액비순환시스템 미가동)>

- 경산지역 액비순환 미적용 비육돈사의 슬러지 높이를 측정한 결과, ㄱ농장(그림 11)과 비교하여 볼 때 ㄱ농장의 슬러지 높이는 32.1 cm, ㅋ농장의 슬러지 높이는 평균 32.3 cm로 높게 나타남.
- 슬러리 배출구 쪽으로 갈수록 슬러지의 높이가 낮게 나타났으며 (범례 중, 파란색, 연두색), 멀리 떨어져 있어 축적되기 쉬운 곳일수록 높게 남(범례 중 빨간색). 여주 ㄱ농장과 경산 ㄱ, ㅋ농장의 비육돈의 밀도에 큰 차이가 없는 점을 고려해볼 때, 이러한 슬러지 높이의 차이는 농장주의 슬러리 신속배출 및 청소 관리 주기의 차이에 기인한 것으로 판단됨.
- ㄱ농장, ㄱ농장과 ㅋ농장의 피트 슬러리 내 슬러지 높이를 조사한 결과, 슬러지 높이에 영향을 끼치는 요인은 돈사 현황(두수, 무게, 피트 슬러리 넓이 및 깊이 등), 관리 방법(슬러지 배출 및 청소주기) 등 환경적인 요인이 우세한 것으로 추정됨. 서로 다른 농장들의 슬러지 높이 현장 조사를 통한 비교 평가는 제한적인 것으로 판단됨.

(3) 액비순환시스템 적용 돈사 내부 용적 및 환기량 계산

- ㄱ농장은 비육돈사에 액비순환시스템이 적용되었으며, 2,194.5m²의 넓이로 설계됨. 축사 표준 설계도[돈사]에 의하면, 비육돈사의 박공형 천장 최저 높이는 3.3 m, 최고 높이는 7.26 m임.
- 본 자료를 토대로 ㄱ농장의 내부 용적을 계산할 시 대략 11,587 m³임. ㄱ농장의 비육돈 두수는 2,500 두이며, 이를 MWPS-8에 의거하여 계산할 시 고온일 시 권장 환기량은 8,800,000 L min⁻¹ (310,769 cubic feet per minute, cfm)이며, 적온일 시 권장 환기량은 2,575,000 L min⁻¹ (90,935 cfm), 저온일 시 권장 환기량은 725,000 L min⁻¹ (25,603 cfm)임.

- 이를 토대로 돈사 내부 공기를 1회 환기하는데 소요되는 시간을 계산할 시 고온일 시 약 1분20초 정도 소요되며, 적온일 시 약 5분 정도 소요되며, 16분 정도 소요됨으로 계산됨.
- 르축산의 경우 두수와 관련한 조사는 진행되었지만, 내부 용적에 대한 정보는 제공되지 않음. 두수의 경우 모든 380 두, 자돈 1,500 두, 비육돈 3,120 두 이며, 이를 MWPS-8에 의거하여 계산할 시 고온일 시 권장 환기량은 17,648,200-18,098,200 L min⁻¹ (623,240-639,132 cfm)이며, 적온일 시 권장 환기량은 2,229,000-2,439,000 L min⁻¹ (78,716-86,132 cfm)이며, 저온일 시 권장 환기량은 1,215,200-1,260,200 L min⁻¹ (42,914-44,503 cfm)임.

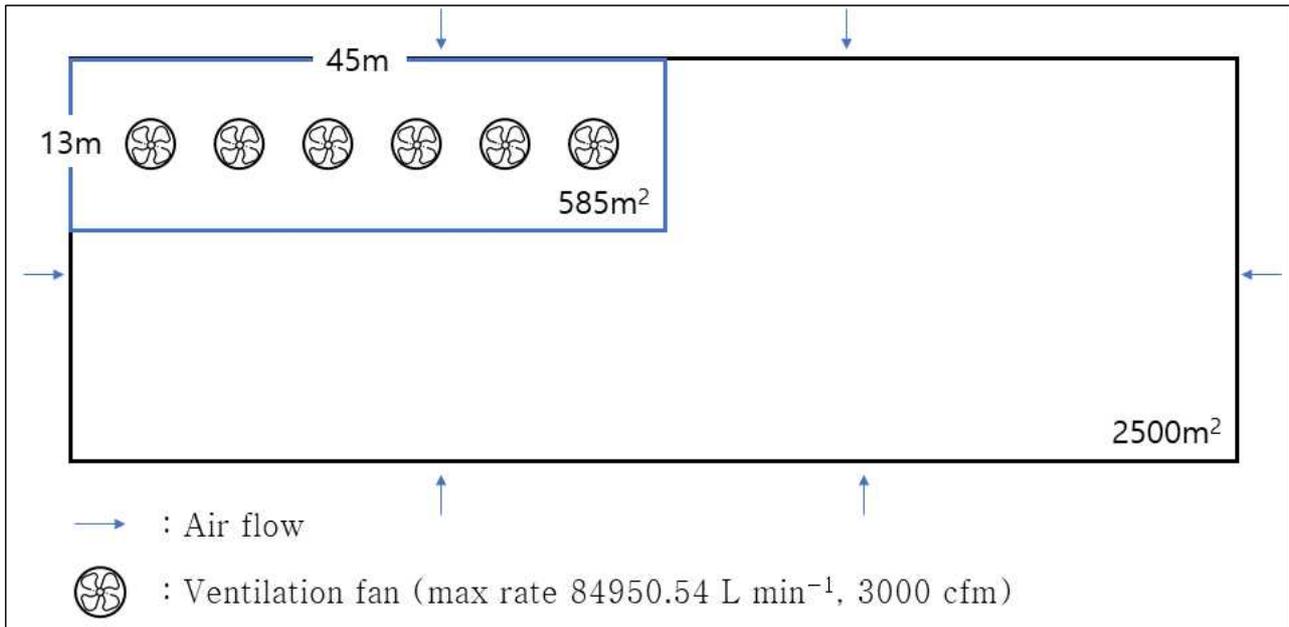


<그림 13. 르농장 돈사 환기량 계산>

- ○농장(그림 13)의 경우 액비순환시스템이 적용된 돈사(육성사)의 면적은 1,760 m² (가로×세로=80m×22m, 약 532평)임. 축사 표준 설계도[돈사]에 의하면, 육성사의 박공형 천장의 최저 높이는 3.45 m, 최고 높이는 6.5 m 였다. 본 자료를 토대로 ○농장의 내부 용적을 계산하면 8,756 m³임
- 멀티웬이 장착되어 온도 및 내부 암모니아 농도에 대비하여 환기웬의 용량이 조절되는 자동화 시스템을 구축함. 맨 좌측의 환돈방과, 그 우측으로 6개의 돈방이 한 칸을 이루어 총 7칸으로 구성됨. 한 칸 당 중심에 84,950.54 L min⁻¹ (3,000 cfm) 용량의 환기웬 한 개와, 그 좌·우측으로 169,901.08 L min⁻¹ (6,000 cfm)용량의 환기웬 두 개가 설치됨.
- 고온(여름, 돈사 내부 온도 25℃ 이상) 시 중앙웬 100%에 좌·우측 웬이 각각 50% 정도씩 가동되어 총 1,783,961.3 L min⁻¹ (63,000 cfm)의 용량으로 환기웬이 작동함. 저온(겨울, 돈사 내부 온도 약 20℃ 이하) 시 중앙웬이 약 30%의 성능으로 가동되어 총 198,217.9 L min⁻¹ (7,000 cfm)의 용량으로 환기웬이 작동함. 적온(봄, 가

을 및 여름 시기 중 온도가 적절한 경우, 돈사 내부 온도 22-23℃)에서는 중앙팬이 100% 정도씩 가동되어 총 594,653.8 L min⁻¹의 용량으로 환기팬이 작동함.

- 이를 토대로 돈사 내부 공기를 1회 환기하는데 소요되는 시간을 계산할 시 고온일 시 약 5분정도 소요되며, 저온일 시 약 44분이 소요되고, 적온일 시 약 15분 정도 소요됨.



<그림 14. 치농장 돈사 환기량 계산>

- 치농장(그림 14)의 경우 액비순환시스템이 적용된 돈사(비육돈사) 한 채의 평균 면적은 2,500 m² (800평 규모)임. 돈사 당 약 4채의 돈방이 있으며, 돈방 한 채의 면적은 585 m² (가로×세로=45m×13m, 약 177평)임. 축사 표준 설계도[돈사]에 의하면, 비육돈사의 박공형 천장 최저 높이는 3.3m, 최고높이는 7.26 m 임. 본 자료를 토대로 치농장의 내부 용적을 계산하면 13,200 m³임.
- 치농장의 환기팬은 70두 당 한 개 꼴로 설계되어 돈방 당 평균적으로 6개가 설치됨. 환기팬의 용량은 설치 규격 상 135,920.9-141,584.2 L min⁻¹ (4,800-5,000 cfm) 이였지만, 실제 용량의 경우 약 84,950.54 L min⁻¹ (1,000 cfm)임. 고온일 시 모든 팬을 최대로 가동하여 총 2,038,813.0 L min⁻¹ (72,000 cfm)의 용량으로 환기팬이 작동하며, 저온일 시 돈방 당 한 개에서 두 개의 팬을 약 10%의 성능으로 가동하여 총 33,980.2-67,960.4 L min⁻¹ (1,200-2,400 cfm)의 용량으로 환기팬이 작동함. 이를 토대로 돈사 내부 공기를 1회 환기하는데 소요되는 시간을 계산할 시 고온일 시 약 6분30초 정도 소요되며, 저온일 시 약 3-6시간 정도 소요됨.
- ㄴ농장, ㅇ농장과 치농장의 내부 용적을 조사 및 표준 설계도에 의거하여 계산하였을 시 그 부피는 각기 다름을 알 수 있음. 두 수, 환기량 또한 각 농장마다 다름.
- 그럼으로, 농장의 환기량은 각 농장별 외부 온도에 따른 돈사 1회 환기 소요 시간을

기준으로 비교함(표 3). 낙원농장과 오성농장 1회 환기 소요 시간을 권장 환기량을 기준으로 계산한 태광농장과 비교하였을 시, 권장 환기량 보다 시간이 오래 소요되는 것을 확인할 수 있음. 하지만 MWPS-8의 경우 미국 중서부를 기준으로 작성되었기에, 국내 현황과 비교를 하기 어려운 점이 존재함.

<표 3. 액비순환시스템 적용 돈사 내부 용적 및 온도별 환기 소요시간>

농장명	돈사 유형	내부 용적(m ³)	고온	적온	저온
ㄴ농장	비육돈사	11,587	1m 20s	5m	16m
ㅇ농장	육성사	8,756	5m	15m	44m
ㄷ농장	비육돈사	13,200	6m 30s	-	3-6 h

h: 시간 m: 분 s: 초

※각 농장의 높이는 축사 표준 설계도에 의거하여 계산하였다.
태광농장의 경우 권장 환기량을 기준으로 계산하였다.

(4) 현장 악취분석

<표 4. 가스텍 휴대용 가스 검지기를 활용한 사농장 악취측정표(2018)>

일시	7월 17일 13시	10월 22일 12시	10월 22일 11시
액비순환	미가동	미가동	가동
종류/밀도	비육돈/90kg/1	비육돈/90kg/1	비육돈/110kg/1.2
환기	100% 가동	50% 가동	50% 가동
NH ₃ (ppm)	9.7	27.4	29
H ₂ S (ppm)	1	4.2	1.9

- 사농장 돈사에서 가스텍 휴대용 가스 검지기를 활용한 현장 측정은 2018년 7월과 10월 두 번에 걸쳐 진행되었으며, 돈사 내부의 온도는 환기량의 차이로 인하여 모두 27-28℃ 사이로 남. 7월과 10월에 가장 큰 차이는 환기량으로, 돈사 내 NH₃ 및 H₂S 농도는 액비 순환가동 여부보다는 환기량에 의해 결정되는 것으로 나타남. 사육조건 및 환경조건이 모두 일치하지는 않지만 환기팬의 가동률이 100%에서 50%로 감소하였을 때, 돈사 내 NH₃ 농도는 약 3배 증가하였고 H₂S는 2-4배 정도 증가함(표 4).

<표 5. 가스텍 휴대용 가스 검지기를 활용한 경산지역 양돈장 돈사 악취측정표(2018)>

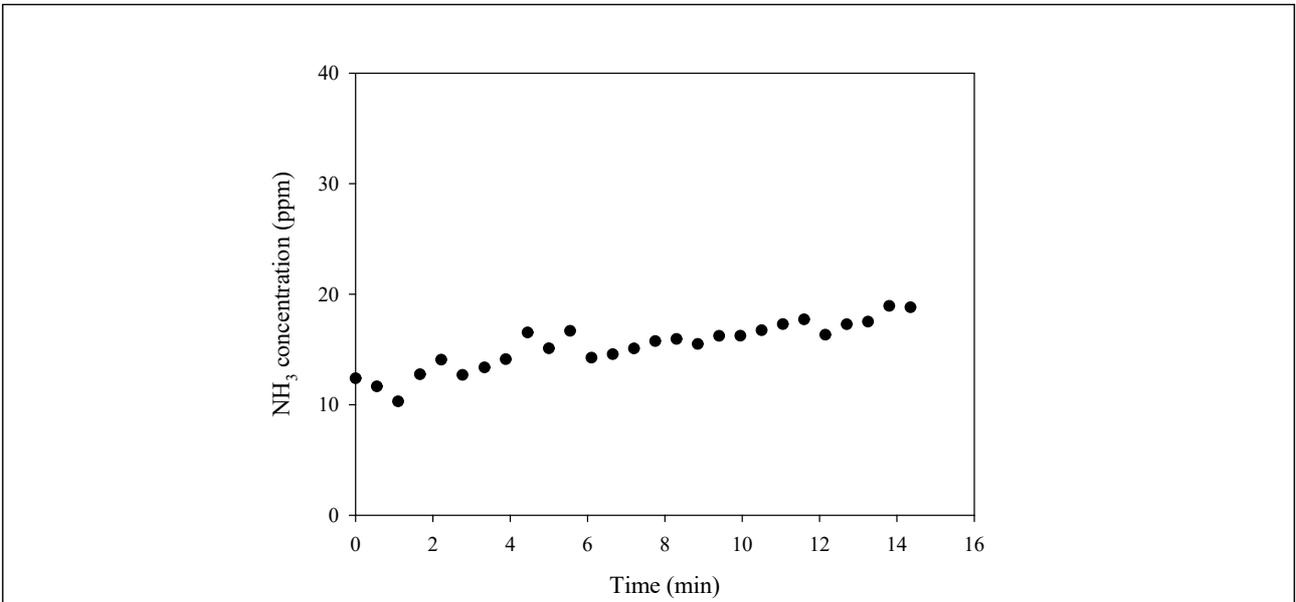
일시	10월 14일 13시	10월 14일 15시	10월 15일 10시
농장명	ㄹ농장	ㅋ농장	ㄷ농장
액비순환	미가동	미가동	미가동
종류	비육돈 / 90kg	비육돈 / 80kg	비육돈 / 100kg
NH ₃ (ppm)	16.5	15	18
H ₂ S (ppm)	0.45	1.1	0.9

- 경산에서 방문한 세 농장 돈사 내부에서 가스텍 휴대용 가스 검지기로 측정한 NH₃ 농도는 15-18 ppm 으로 측정되었으며, H₂S의 경우 0.45-1.1 ppm 으로 여주 농장에 비해 상대적으로 낮은 수치값을 나타남(표 5).

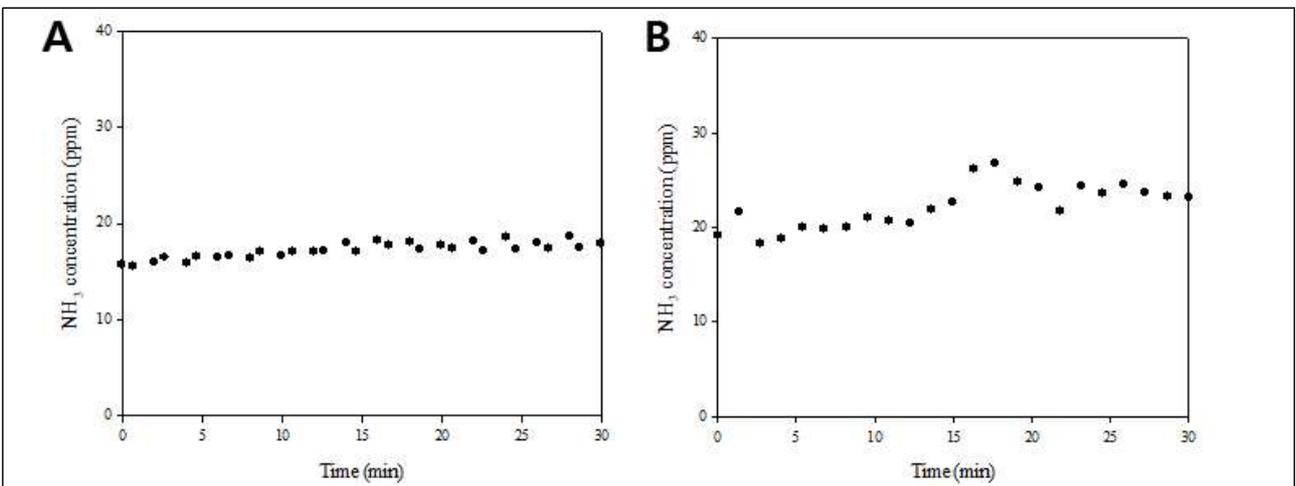
<표 6. 가스텍 휴대용 가스 검지기를 활용한 흰돌농장 돈사 악취측정표(2018)>

일시	11월 7일 10시
액비순환	미가동
종류/밀도	비육돈 / 90kg / 1
환기	50% 가동 / 500 m ²
NH ₃ (ppm)	31.5
H ₂ S (ppm)	1.85

- 액비순환을 아직 가동하지 않은 흰돌농장 돈사 내부에서 가스텍 휴대용 가스 검지기를 활용하여 악취를 측정하였을 때 NH₃와 H₂S 농도가 각각 31.5 ppm 과 1.85 ppm 으로 나타나 다른 지역 농장들에 비해 높은 농도로 측정됨(표 6). 농장 내 다른 돈사의 수리로 인하여 비육돈들이 평소보다 고밀도로 분포하고 있는 것이 영향을 미쳤을 것으로 판단됨.
- ㅅ농장, ㄹ농장, ㅋ농장, ㄷ농장과 ㅂ농장의 H₂S 농도는 평균 1.63 ppm 이었으나 편차는 1.25 ppm 으로 나타났다. 일반적으로 양돈장에서의 H₂S 발생은 외부평균온도, 돈사 내 정화조 면적, 돈사 내 공기 통풍율, 사료 내 황 함량에 높은 상관관계를 갖고 있는 것으로 알려져 있어 (Avery 등, 1975; 김 등, 2007), 현재 데이터만으로 H₂S 농도에 유의미한 영향을 미치는 인자를 밝혀내기에는 어려움.



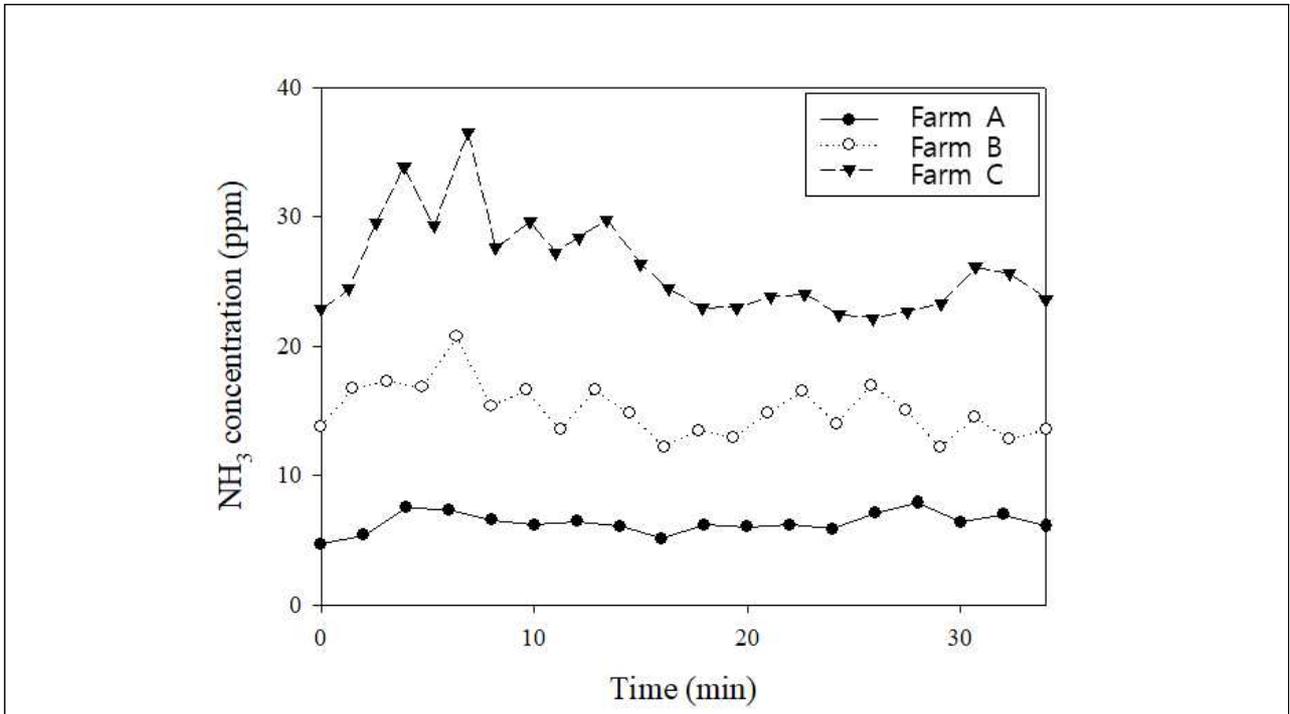
<그림 15. 광음향가스모니터를 활용한 사농장 비육돈사 내부 NH₃ 농도('18년 07월 17일)>



A: 액비순환시스템 미가동 B: 액비순환시스템 가동

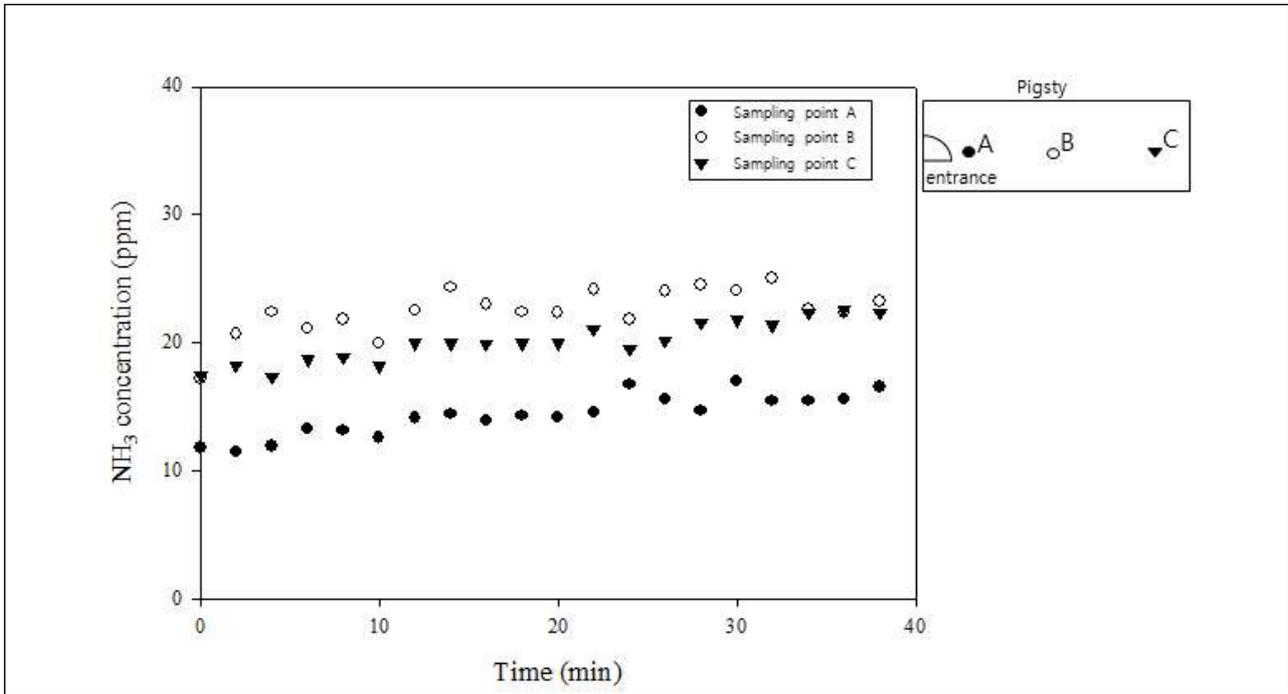
<그림 16. 광음향가스모니터를 활용한 사농장 비육돈사 내부 NH₃ 농도('18년 10월 22일)>

- 모든 측정 시 기기 안정화에 이르는 시간을 제외한 데이터를 그래프로 나타냄. 측정 초기에는 기기 설치 및 연구원 이동으로 인한 문의 개폐로 조금 낮게 나타났으며 분석 시간이 흐를수록 소폭 상승하는 경향을 보여줌.
- 10월 22일에 측정한 액비순환 미가동 및 가동 돈사를 비교해보았을 때, 미가동 돈사에서 오히려 NH₃의 농도가 낮게 측정됨. 가동 돈사의 경우 출하 2일 전에 측정한 값으로 비육돈의 크기와 중량에 최고에 이른 시점이며 출하를 얼마 남겨두지 않아 돈사 내부 및 피트슬러리의 상태가 좋지 못하였고, 미가동 돈사의 경우 10-20 kg 덜 나가는 비육돈의 돈사인 점 등이 상반된 결과를 보여준 것으로 판단되며, 향후 연구에서는 대상 돈사를 집중적인 연구가 필요함.
- 가스텍 휴대용 가스 검지기로 측정한 내부 NH₃ 농도가 각각 9.7, 27.4, 29 ppm인 것과 광음향가스모니터를 이용한 연속 측정 농도와 비교하였을 시 광음향가스모니터를 이용하였을 경우 낮게 측정되었음을 확인함(표 4).



<그림 17. 광음향가스모니터를 활용한 경산지역 양돈장 비육돈사 내부 NH₃ 농도('18년 10월 22일), Farm A: □농장, Farm B: ◊농장, Farm C: ▽농장>

- 광음향가스모니터를 활용하여 경산지역 양돈장 비육돈사 내부 NH₃ 농도를 30분간 연속 측정된 결과 □농장이 가장 낮게 나왔으며 ◊, ▽농장 순으로 높음. □농장의 연속측정 값이 유독 낮았던 이유는, 현지 출입구와 돈사 내부 복도 특성상 기기를 문 입구 쪽에 놓고 측정을 했기에 다른 농장 대비 출입문이 상당히 열려 있던 데에 기인한 것으로 판단됨.
- 가스텍 휴대용 가스 검지기로 측정된 NH₃ 농도와 비교해볼 때, □농장은 61% 낮게 측정 되었으며, ◊농장은 차이가 없이 매우 동일한 수치로 측정됨(표 5). 그러나 ▽농장의 경우 연속측정 시 가스텍 휴대용 가스 검지기 대비 오히려 45% 이상 높게 측정됨(표 5).
- ▽농장은 내부출입 관련하여 농장주의 동의를 구하지 못하여 농장주가 직접 가스텍 휴대용 가스 검지기를 활용하여 돈사 내부에서 측정하였으며, 광음향가스모니터 기기 또한 돈사 내부에 설치하지 못하고 측창의 일부 틈을 통해 테플론 튜브를 넣어 측정함. 측정기기를 원활히 다루지 못한 점과 돈사 내부 공기가 정체되어 있던 부분을 측정하여 결과값이 높게 나타난 것으로 판단됨.



<그림 18. 광음향가스모니터를 활용한 비육돈사 내부 NH₃ 농도(‘18년 11월 07일), Sampling point A: 돈사 초입, Sampling point B: 돈사 중앙, Sampling point C: 돈사 후단>

- 의령농장에서는 광음향가스모니터(INNOVA1512, 그림 8)를 확장하여 사용할 수 있는 다중 채널 샘플러(INNOVA1403, 그림 7)를 이용하여 돈사의 중앙뿐만 아니라 초입과 후단 부분에서도 연속 측정을 실시함(그림 18).
- 그 결과 출입문과 가까운 곳 (●)에서 NH₃ 농도가 가장 낮게 측정되었으며 비육돈의 밀집 밀도가 상대적으로 낮았던 후단 (▼)부분에서 소폭 증가하였으며, 돈사 내부 중앙 (○)에서 가장 높게 측정됨.
- 이러한 결과는 향후 현장 연속측정 시 부득이하게 한 곳만을 측정할 경우에는 가능한 돈사 중심에서 측정해야함을 시사함. 또한, 비육농장에서도 앞선 결과와 유사하게 가스텍 휴대용 가스 검지기 측정값 (31.5 ppm) 보다 약 36% 낮게 측정됨(표 6).
- 사, 口, ㄱ, ㄷ와 비육농장에서의 NH₃ 농도 측정의 경우 대체적으로 광음향가스모니터를 활용하였을 시 가스텍 휴대용 가스 검지기 측정값보다 낮게 나오는 경향을 보임(표 7). NH₃의 농도는 수분(습도)의 영향을 많이 받으며, 광음향가스모니터는 기기 자체에서 수분을 보정하여 데이터를 보여줌. 반면에, 가스텍 휴대용 가스 검지기는 그렇지 못하여 과대평가 되었을 가능성이 존재함. 이는 추가적인 연구를 통하여 정확히 확인할 필요가 있음으로 판단됨.

<표 7. 가스텍 휴대용 가스 검지기와 광음향가스모니터를 활용한 양돈장 돈사 내부 NH₃ 농도 측정 비교>

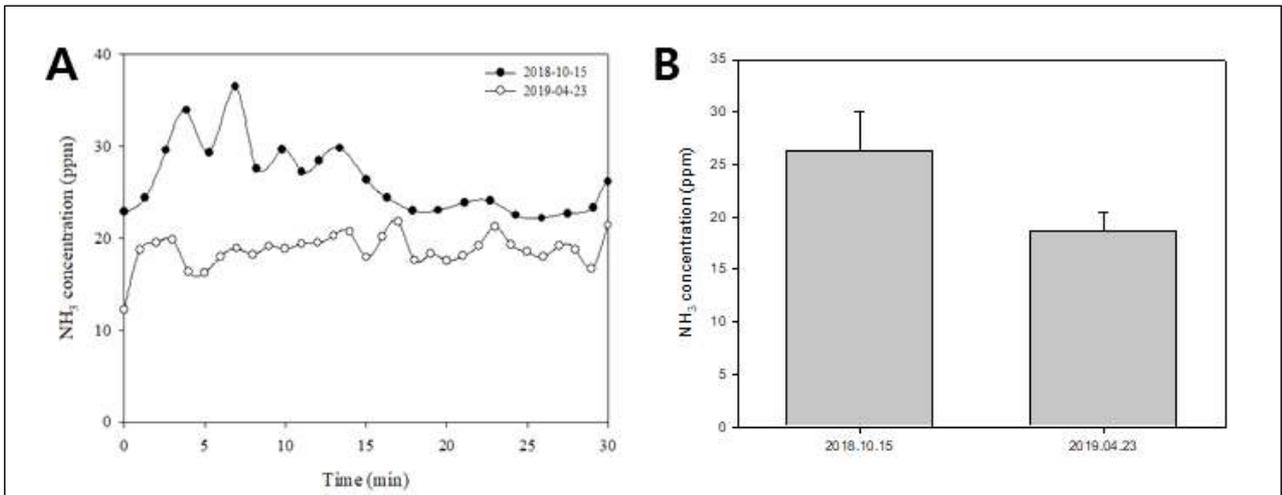
농장명	ㄱ농장		ㄴ농장		ㄷ농장		ㄹ농장		ㅁ농장	
	G**	I***	G	I	G	I	G	I	G	I
NH ₃ 농도 (mg m ⁻³)*	16.6	11.5	12.4	4.8	11.3	11.3	13.5	19.7	23.7	16.9

*PPM 농도값을 mg m⁻³으로 치환하였다

**G : 가스텍 휴대용 가스 검지기

***I : 광음향가스모니터

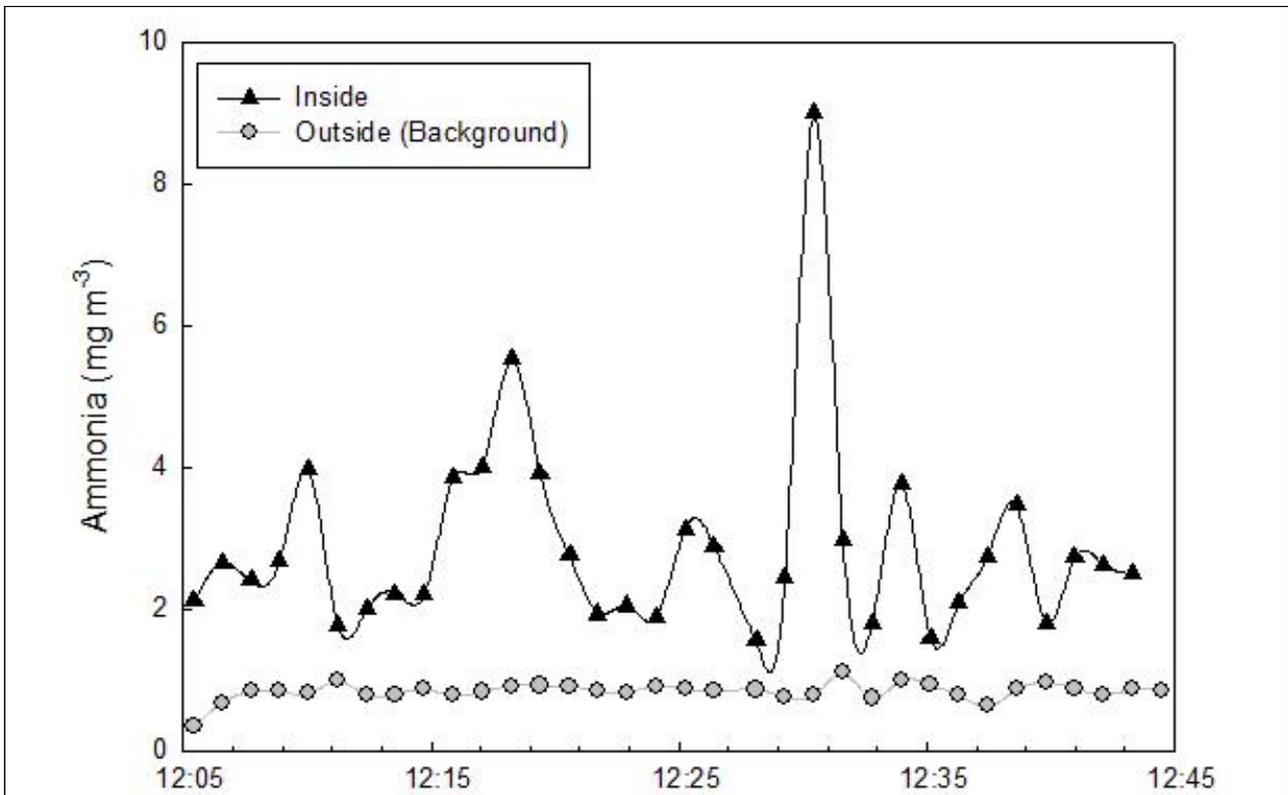
- ㄷ농장에서 광음향가스모니터를 활용한 비육돈사 내부 NH₃ 농도 측정의 경우 ㄱ농장 (그림 15, 16)에서의 측정과는 다른 경향성을 보여줌(그림 19). 액비순환 시스템 도입 초기 조사인 1차 측정 (2018년 10월 15일) 시에는 일평균기온이 15.8℃ 였으며, 90 kg 전후 비육사였음. 2019년 04월 23일, 액비순환 시스템 운영 초기 조사 시에는 일 평균기온 16.0℃ 였으며, 110 kg 전후 비육사였음. 관찰 결과로 비육돈사 내부 평균 NH₃ 농도가 26 ppm에서 19 ppm으로 감소함.



<그림 19. 광음향가스모니터를 활용한 ㄷ농장 비육돈사 내부 NH₃ 농도 비교 (2018년 10월 15일, 2019년 04월 23일)>

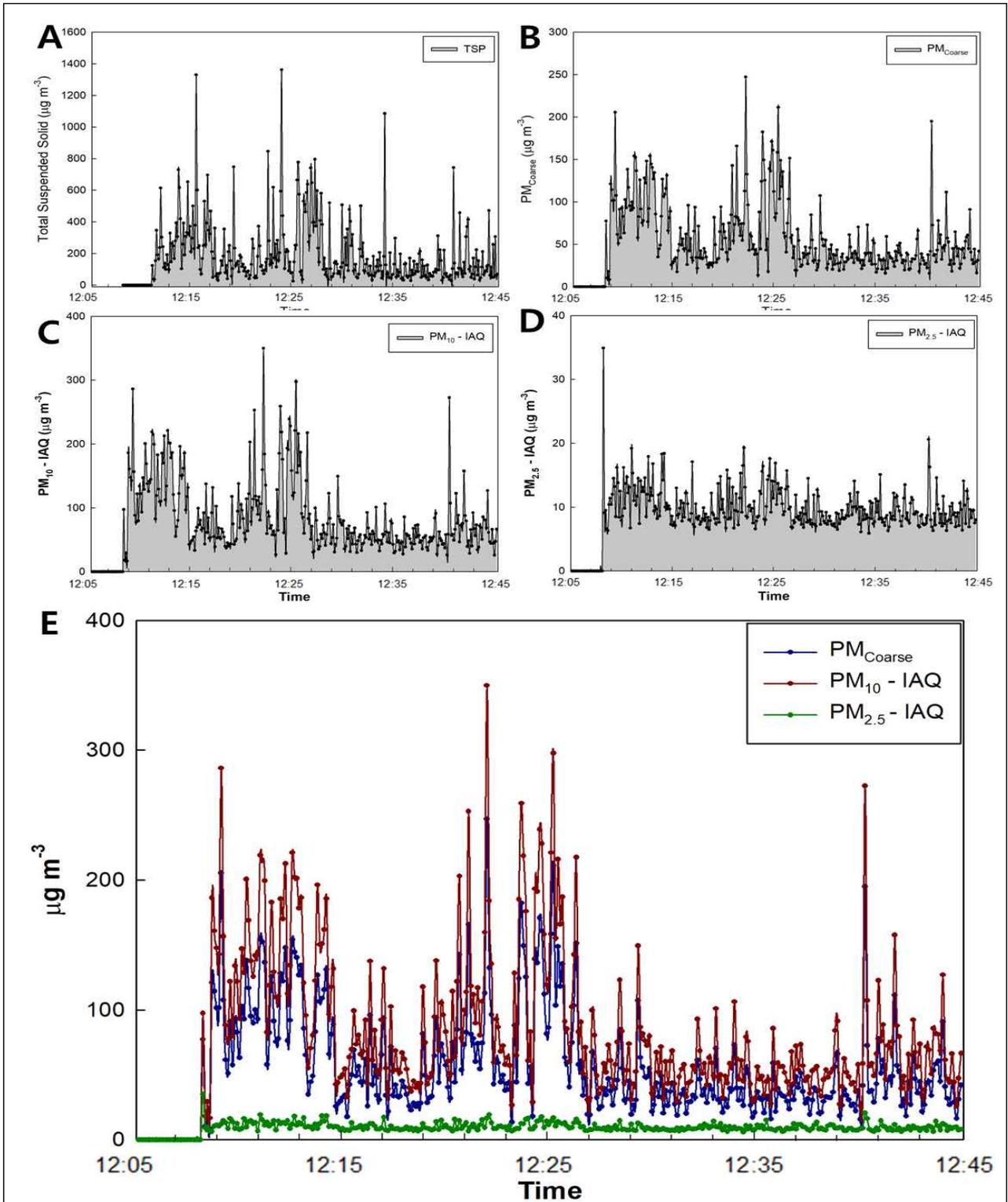
- 2020년 1차수(2월)와 2차수(5월)에 걸쳐 복합악취 공기희석 관능법을 활용한 현장 악취 평가를 실시함. 복합악취 공기희석 관능법은 시험 예정인 대기를 채집 후, 판정요원(선별된 5명)이 악취를 인지하지 못하는 단계까지 10배, 30배, 100배, 300배 등의 순서로 희석하는 방법임. 해당 시험법 실행 시 현장에서 평가를 할 경우 후각이 마비되어 냄새를 감지하지 못할 수 있기 때문에, lung chamber를 이용하여 돈사 내 공기를 포집함. 포집 한 공기를 시험 과정에 맞추어 10배, 30배, 100배 희석하여 5명의 판정요원에게 맡겨 함. 하지만, 판정요원의 악취 감지 여부가 다소 주관적이며, 대표할 만큼의 표본수 확보가 힘들었기 때문에 통계적으로 유의미한 결과를 도출하지 못함.

- 2차수 조사 일정시 안성에 위치한 120평 규모의 ㄴ농장의 비육돈사를 대상으로 악취 모니터링을 실시함. 농가에는 100±10kg 비육돈 320두를 사육중이었고, 30-40% 수준의 성능으로 환기팬을 유지중이었음. 모니터링 일자의 일 평균 기온은 17.5℃였으며, 측정 시간 기준 평균 기온은 19.2-20.3℃, 최고기온은 23℃이며 강우량은 없고 습도는 31-36%였음.
- 검지관(H₂S, NO_x) 측정결과는 측정한계(Detection limite, DL)이하로 변화를 보이지 않음. H₂S의 경우 최소 검출 한계는 50 ppb 였으며, NO_x의 최소 검출 한계는 500 ppb - 2.5 ppm으로, 해당 가스는 내부 작업자와 비육돈은 물론, 외부에 영향을 끼칠 수준의 농도 이하인 것으로 판단됨.



<그림 20. ㄴ농장 비육돈사 내·외부 암모니아 농도 비교>

- ㄴ농장에서 실시된 내·외부 NH₃ 농도 검사결과에 의하면 내부 NH₃는 최대 9.0 mg m⁻³ (12.9 ppm), 최소 1.6 mg m⁻³ (2.2 ppm)이며, 평균적으로 2.9 mg m⁻³ (4.1 ppm)의 농도로 측정됨. 외부 NH₃는 최대 1.1 mg m⁻³ (1.6 ppm), 최소 0.3 mg m⁻³ (0.5 ppm)이며, 평균적으로 0.8 mg m⁻³ (1.2 ppm)의 농도로 측정됨(그림 20).
- 해당 측정값은 2018/2019년도에 실시된 광음향가스모니터를 활용한 액비순환시스템 미가동 농장 돈사 내부 NH₃ 농도 평균값과 비교하였을 시 약 12.3 mg m⁻³ (16.2 ppm)만큼 낮은 결과값을 보여줌(표 6 참조).



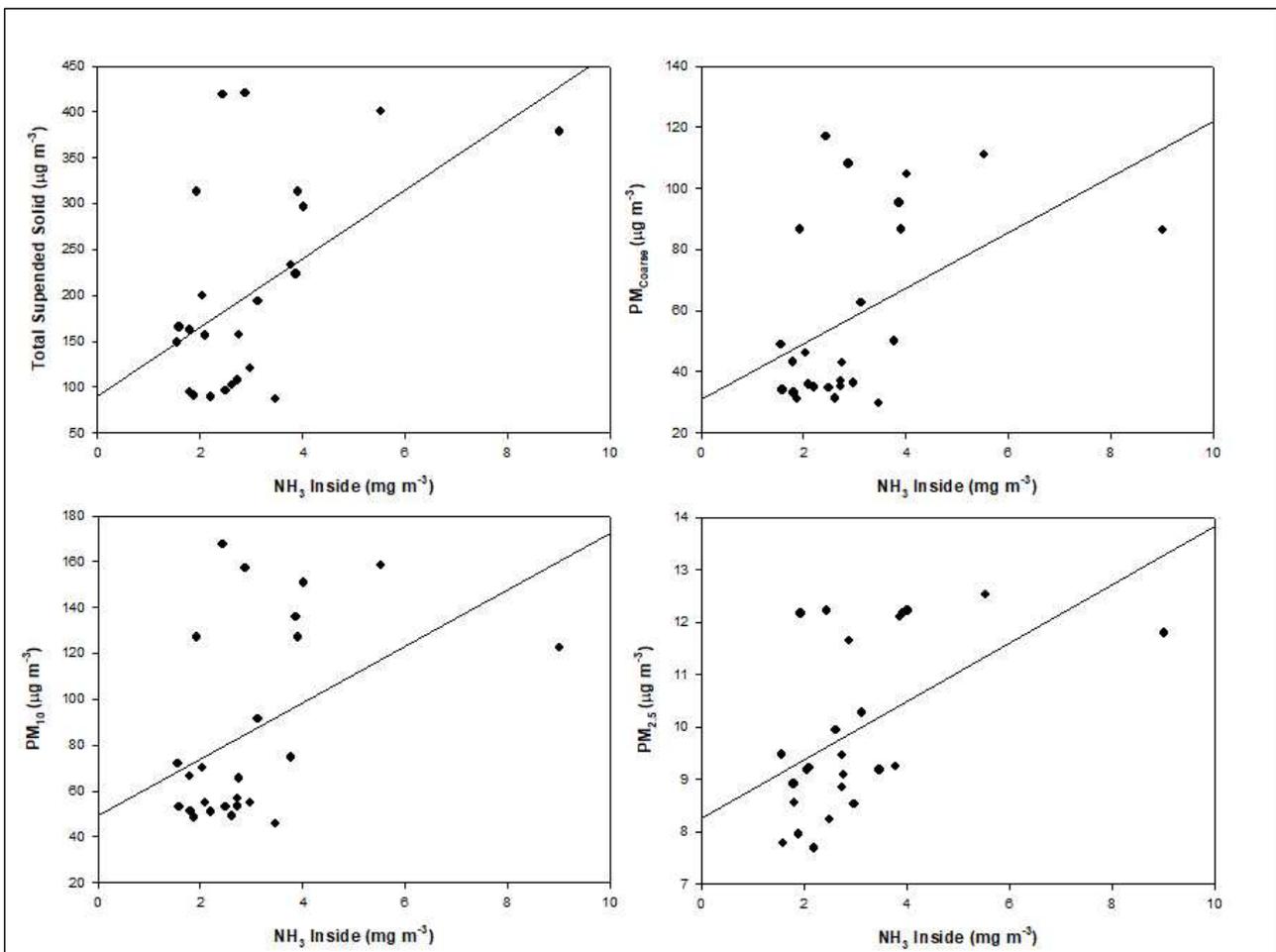
<그림 21. 농장 비육돈사 내부 Total Suspended Solid (TSP), $\text{PM}_{\text{coarse}}$, $\text{PM}_{10}\text{-IAQ}$, $\text{PM}_{2.5}\text{-IAQ}$ 농도 측정(2020년)>

- OPC를 활용한 내부 분진 검사결과에 의하면 TSP 농도는 최대 $1361.1 \mu\text{g m}^{-3}$, 최소 $24.9 \mu\text{g m}^{-3}$, 평균 $204.1 \mu\text{g m}^{-3}$ 로 측정됨(그림 21 A). $\text{PM}_{\text{coarse}}$ 농도의 경우 최대 $247.1 \mu\text{g m}^{-3}$, 최소 $8.3 \mu\text{g m}^{-3}$, 평균 $59.5 \mu\text{g m}^{-3}$ 로 측정됨(그림 21 B). $\text{PM}_{10}\text{-IAQ}$ (Indoor Air Quality) 농도의 경우 최대 $349.8 \mu\text{g m}^{-3}$, 최소 $16.6 \mu\text{g m}^{-3}$, 평균 $87.7 \mu\text{g m}^{-3}$ 로 측정됨(그림 21 C). $\text{PM}_{2.5}\text{-IAQ}$ 농도의 경우 최대 34.9

$\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 $5.9 \mu\text{g m}^{-3}$, 평균 $10.0 \mu\text{g m}^{-3}$ 로 측정됨(그림 21 D). PMcoarse, PM10-IAQ와 PM2.5-IAQ를 비교할 경우 PMcoarse와 PM10-IAQ는 유사한 모습을 보였으며, PM2.5-IAQ는 상대적으로 낮은 농도를 보여줌(그림 21 E).

- 대체적으로 내부 NH_3 와 PM 농도는 내부 활동, 외부 온도 및 환기 등에 의해 결정됨. 외부 온도가 적정 온도보다 높을 시 내부 온도에도 영향을 끼치는데, 내부 온도 유지 및 고온에 의하여 발생된 NH_3 저감을 위하여 환기팬 가동을 증대시키며, 이는 내부 PM 농도의 상승을 야기한다. 외부 온도가 적정 온도보다 낮을 시 환기팬 가동을 감소시키는데, 이는 연쇄적으로 내부 NH_3 농도 상승 및 PM 농도 상승을 유발함.
- 또한, 사료 투입이나 내부 작업자의 활동 등에도 상기 측정값들은 영향을 받음. 서로 복잡한 영향을 끼치는 인자들에 대한 상관관계와 그 유의성을 확인하기 위하여 내부 NH_3 농도와 PM 농도간의 선형회귀모델을 작성하였고(그림 22), 유의성 검사(t-test)*를 통하여 $P < 0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검증함(표 8).

*유의성 검사(t-test): 실험 결과의 평균값이 통계적으로 유의미한지 여부를 알아보는 시험으로, 귀무가설을 틀렸다고 증명함으로써 대립가설이 옳다는 것을 증명하는 통계적 실험 방법이다. $P < 0.05$ 을 만족할 경우 유의하다 판단한다.



<그림 22. 돈사 내부 암모니아(NH_3) 농도와 미세먼지 (Total Suspend Solid, $\text{PM}_{\text{Coarse}/10/2.5}$)사이의 선형회귀모델>

<표 8. 돈사 내부 암모니아(NH₃) 농도와 미세먼지(Total Suspended Solid, PM_{Coarse/10/2.5})사이의 확률 분석 값>

돈사 내부 암모니아(NH ₃) 농도와 미세먼지(Total Suspended Solid, PM _{Coarse/10/2.5})사이의 유의확률				
항목	TSP	PM _{Coarse}	PM ₁₀	PM _{2.5}
내부 NH ₃ 농도와의 P-값	0.008	0.018	0.022	0.006

*P<0.05: 유의하다

- 돈사 내부와 외부 NH₃ 농도는 유의미한 상관관계를 보이지 않음. 이는 ㄴ농장은 천장배기 형식이며, 외기에 희석되어 내부에서 발생하는 NH₃가 외부 측정지점에 직접적인 영향을 끼치지 못한 것으로 예상됨.
- 내부 NH₃ 농도와 미세먼지 농도사이에서는 모든 값이 양의 상관관계를 보여줌(그림 22). 유의성검사를 통하여 도출한 유의 확률(P-값)을 확인하여 결과가 통계적으로 유의미한지 확인함(표 8). 해당 결과값은 내부 NH₃ 농도와 PM 농도가 서로 통계적으로 유의하게 관련 있음을 보여줌.
- ㄷ농장과 ㄴ농장에서의 돈사 내부 NH₃ 농도 측정 결과는 액비순환시스템 가동 시 미가동 농장 돈사와 비교하여 낮은 결과값을 보여줌(그림 19, 20). ㄷ농장의 결과는 액비순환 시스템을 도입할 시 해당 농장의 특성(지리적 특성, 먹이, 두수 등)에 적합한 방식으로 시스템을 가동하기 위하여 안정화기간이 필요한 것으로 판단됨. 하지만, 현장측정의 변수(지리적 특성, 먹이, 두수, 온도, 농장 출입 제한 등)으로 인한 동일 조건 내에서의 지속적인 현장조사가 힘든 점을 고려하여 환경변수를 제어하여 슬러리 샘플의 특성에 따른 악취배출 평가가 가능한 새로운 평가법이 필요함.

(5) 주요 악취원 선정

- 축산 시설에서의 악취의 경우 현장 평가의 어려움과 주관적인 판단 기준으로 인하여 정확한 평가가 어려우며, 복합적인 특성을 보유함 (400여개의 복합 악취원). 또한, 측정 시마다 조건이 달라지며, 동일한 농장에서의 지속적인 현장조사가 힘든 특성을 보유하고 있음.
- 그럼에도 불구하고, 다수의 현장측정결과 주요악취원 중 하나로 선정되었던 H₂S의 농도보다, NH₃의 농도가 상당히 높은 결과를 볼 수 있었음(표 4, 5, 6). 해당 결과를 바탕으로, 조사 대상 농장의 주요 악취원을 NH₃로 선정함.

다. 슬러리·액비 특성 분석

- 선정된 11개소의 국내 양돈장 돈사 현장 조사를 실시한 결과, 다양한 변수(날씨, 지리적 특성, 돈사 용적, 두수 및 연령, 먹이, 피트 슬러리 상태 등)로 인하여 결과 값들을 대상으로 한 비교가 힘든 단점이 있음. 이에 따라 돈분 슬러리와 액비에 대한 특성 분석을 실시하여 직접적인 평가를 실시함. 현장조사 결과에 입각하여 상대적으로 높은 수치를 보여주었던 NH_3 를 중점적으로 분석을 실시하였으며, NH_3 발생량에 영향을 끼칠 수 있는 인자들 또한 포함하였음.

(1) 11개 농가 대상 슬러리·액비 특성 분석법

- 샘플링 용액의 용존악취 특성분석 및 악취배출 챔버 평가 실험을 위한 샘플링 채취는 총 3년간 양돈장 돈사의 슬러리와 액비로 구분하여 수행함. 악취유발물질(NH_3) 발생량에 영향을 끼칠 수 있는 주요 인자로써 온도, pH, 전기전도도(Electric Conductivity, EC), 생물학적 산소요구량(Biological Oxygen Demand, BOD), 부유물질(Suspended Solid, SS), 총 암모니아성 질소(Total Ammoniacal Nitrogen, TAN), 총 질소(Total Kjeldahl Nitrogen, TKN), 액비부속도, 미생물 군집 등을 조사 분석함. 채취 후 실험실로 이동하여 당일 분석을 하였으며, 분석이 완료된 후 차후 실험을 위하여 슬러리 및 액비 샘플 용액은 냉동보관하여 샘플용액의 특성을 유지함.
- 슬러리 및 액비의 주요 악취물질 중 NH_3 배출은 TAN 및 TKN 값의 직접적인 영향을 받으며 관련 분석은 킬달증류법(Kjeldahl Distillation Method, U.S. EPA Method 350.2)을 이용함. 킬달증류법 중 TAN 분석은 시료의 증류와 적정을 통하여 분석하며, TKN은 과량의 황산처리를 통한 소화(Digestion)과정 후에 증류 및 적정을 통하여 분석함. 킬달증류법은 대개의 실험실에서 암모니아 분석 시 시행하는 일반적인 분석법이며, 강염기(NaOH)를 시료에 주입하여 화학적 반응과 물리적 가열을 통하여 암모늄 이온(NH_4^+)을 NH_3 로 전환하고, 이는 붕산(Boric acid)에 녹인 혼합지시약(Bromocresol-green-Methyl-red solution)을 통하여 포집됨. 0.025 N 농도의 황산용액을 이용한 적정으로, 증류시료의 Ammonium-Borate 화합물을 통하여 평가함. TKN 분석을 위한 시료 소화(Digestion)는 강산인 황산용액(H_2SO_4 , Concentrated acid solution, Conc. Soln.)과 황화칼륨(K_2SO_4), 황화구리(CuSO_4)와 함께 진행함.
- 샘플의 생물학적 산소요구량(Biological Oxygen Demand, BOD), 용존고형물(Suspended Solid, SS) 등의 경우 수질오염공정시험기준에 의거하여 실시함. 슬러리 및 액비의 부속도 검사는 환경부 고시 종자발아법을 기준으로 실시하였으며, 발아율 85% 이상의 서호무 종자를 이용함. 각 실험구에 5 mL의 슬러리 혹은 액비와 서호무 씨앗 30개를 분주하고, 30개의 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $85 \pm 1\%$, 종자의 발아조건에 따른 광조건에서 총 120-125시간 동안 관찰을 실시하였다. 계절별 농가의 슬러리 및 액비를 대상으로(약 30여개) 진행하여 발아지수를 확인함.

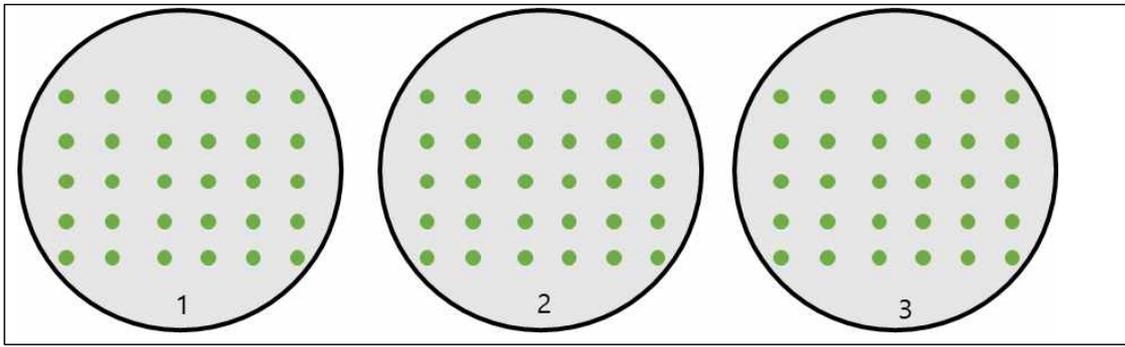
- pH, EC, BOD, SS, TAN, TKN, TP와 부속도 검사 결과값을 대상으로 주성분분석* (Principal Component Analysis)을 실시함. 이를 통하여 각 샘플의 특성을 기준으로 슬러리와 액비를 구분하는데 기여하는 인자를 선정함.
- *주성분분석(Principal Component Analysis): 다변량 데이터 분석기법 중 하나로, 많은 양의 데이터와 변수들을 축약 및 분류하는 분석기법임. 이 외에도 다중회귀분석 (Multiple Regression Analysis), 다중 분산분석(Multiple ANOVA)등이 존재하는데, 많은 양의 변수 축약을 위하여 주성분분석을 실시함.
- 대상 농가 중 태광농장과 낙원농장의 슬러리와 액비 용액샘플을 16S RNA 염기서열에 따라 미생물 군집 분석을 실시함. 관련 분석은 천랩 (ChunLab, Inc., Seoul, Korea)을 통하여 진행함. 주성분분석 (Principal Component Analysis)을 통하여 각 샘플을 구성하는 모든 미생물 중 샘플을 특정할 수 있는 미생물을 선정하였으며, 샘플 별로 다섯 개의 미생물이 선정됨.



<그림 23. 킬달 소화 장치 (DKL 8 Automatic Digestion Unit)>



<그림 24. 킬달 증류 장치 (UDK 139 Semi-Automatic Kjeldahl Distillation Unit)>



<그림 25. 종자발아법을 이용한 부숙도 검사 실험 모식도>

(2) 사농장, ㄱ농장, ㄴ농장, ㄷ농장 슬러리·액비 대상 pH, TKN, TAN 분석

- 사농장의 액비시설의 전단부와 후단부에서 액비 시료를 채취하여 실험실에서 분석한 결과, 각각 전단부 pH 8.39, 후단부 pH 7.76 으로 측정되어 후단부로 갈수록 pH가 낮아지는 것으로 나타남. 특히 악취발생의 주요 잠재물질 중 하나인 TAN의 농도는 전단부와 후단부에서 각각 32 mg L^{-1} , 20 mg L^{-1} 로 나타나 전반적으로 액비 내 농도가 낮았으며, 후단부로 갈수록 더 낮아짐.
- 액비 내 유기태질소를 포함한 TKN은 287과 254 mg L^{-1} 로 나타나, TKN의 10% 수준만이 TAN으로 존재하는 것으로 나타남. 또한, 비육돈사 중 액비를 순환하는 돈사와 순환하지 않는 돈사에서 배출한 슬러리를 즉시 채취하여 분석한 결과, 액비를 순환하는 돈사의 슬러리의 pH가 8.13으로 비가동 돈사에 비해 높게 나타남.
- TKN은 액비 순환 비가동 슬러리에서 $2,706 \text{ mg L}^{-1}$ 액비순환 가동 슬러리는 $1,763 \text{ mg L}^{-1}$ 로 비가동 돈사 슬러리에서 153% 이상 높게 나타났으며, 악취(NH_3)발생 용존잠재물질인 TAN은 액비순환 비가동 돈사에서 $1,640 \text{ mg L}^{-1}$ 로 액비 순환 가동돈사에 비해 약 25% 높게 나타남.
- 이는 대기 중 암모니아의 농도를 가스택 휴대용 가스 검지기와 광음향가스모니터로 측정하였을 때에는 액비순환 가동 돈사에서 소폭 높게 측정된 결과와 상반되는 결과임 (표 4, 5, 6, 9 그림 16, 17, 18, 19).
- 그러나 암모늄 (NH_4^+)의 NH_3 로의 휘발은 pH가 높을수록 잘 일어나기 때문에 pH가 높은 슬러리를 갖는 액비순환 가동 돈사에서 TAN의 농도가 낮지만 휘발은 더 잘 일어나 돈사 내부 대기 중 암모니아의 농도가 높게 나타난 것으로 판단되며, 이는 향후 연구 및 모니터링에서 pH를 유의깊게 살펴보아야 함을 시사함.
- ㄱ농장의 경우 농장주인이 10일간 제조한 액비를 가져와 실험실에서 분석해본 결과 pH는 9.08로 알칼리성을 띰. 특히 TAN의 경우 $2,370 \text{ mg L}^{-1}$, TKN은 $3,173 \text{ mg L}^{-1}$ 로 역시 매우 높은 농도를 나타나 전체 질소의 약 75%가 NH_3 형태인 가용성 형태로 존재함. 이처럼 고농도의 NH_3 를 포함한 액비를 돈사 피트에 재순환 시킬 경우에 NH_3 가 돈사 내에 더욱 더 고농도로 축적됨으로 불필요한 과다 악취 발생이 우려됨.

- ㄷ농장에서 배출한 슬러리 원액을 즉시 받아 실험실 내에서 분석한 결과 pH는 7.92로 약알칼리성을 나타내었으며 TKN은 2,665 mg L⁻¹, TAN은 2,255 mg L⁻¹로 TKN의 약 85%가 NH₃ 형태로 존재함. 그 값은 여주 ㄸ농장의 슬러리보다는 약 두 배 가까이 높게 측정되었고, pH는 높지 않으나 TAN이 높아 가스택 휴대용 가스 검지기와 광음향가스모니터 측정 값 또한 높게 나타난 것으로 판단됨(표 5, 그림 17).
- ㄹ농장에서 생산한 액비의 pH는 6.65로 약산성을 나타내었으며 TAN은 533 mg L⁻¹로 나타남. 이는 TKN의 약 37% 수준이고, 슬러리의 경우 여러 돈사에서 배출되는 슬러리를 한 곳에 모아놓은 집수조에서 채취할 수 밖에 없어서 돈사 내부 NH₃ 농도를 측정 한 값과 정확히 일치한다고 볼 수 없음. 그럼에도 불구하고 슬러리 pH가 약알칼리를 띄며 TKN은 2,788 mg N L⁻¹, TAN은 2,675 mg L⁻¹로 슬러리 질소의 대부분이 NH₃ 형태로 존재한 것이 기인하여 악취 측정값이 높게 나타난 것으로 판단됨(표 6, 그림 18).

<표 9. ㄸ농장, ㄹ농장, ㄷ농장, ㄹ농장 슬러리 및 액비 pH, TKN, TAN 조사 (2018)>

샘플명	단위	pH	TKN	TAN
			(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
ㄸ농장 폭기조 전단 액비		8.39	287±28	32±15
ㄸ농장 폭기조 후단 액비		7.76	254±28	20±10
ㄸ농장 액비순환 가동 슬러리		8.13	1,763±71	1,312±71
ㄸ농장 액비순환 미가동 슬러리		7.80	2,706±123	1,640±71
ㄹ농장 액비		9.08	2,370±38	3,173±139
ㄷ농장 액비		7.92	2,255±256	2,665±873
ㄹ농장 슬러리		7.85	533±31	1,427±35
ㄹ농장 액비		7.85	2,675±799	2,788±873

(3) ㄷ농장, ㄹ농장, ㄸ농장, ㄹ농장 슬러리·액비 대상 pH, EC, BOD, SS, TAN, TKN, TP, 부속도 분석

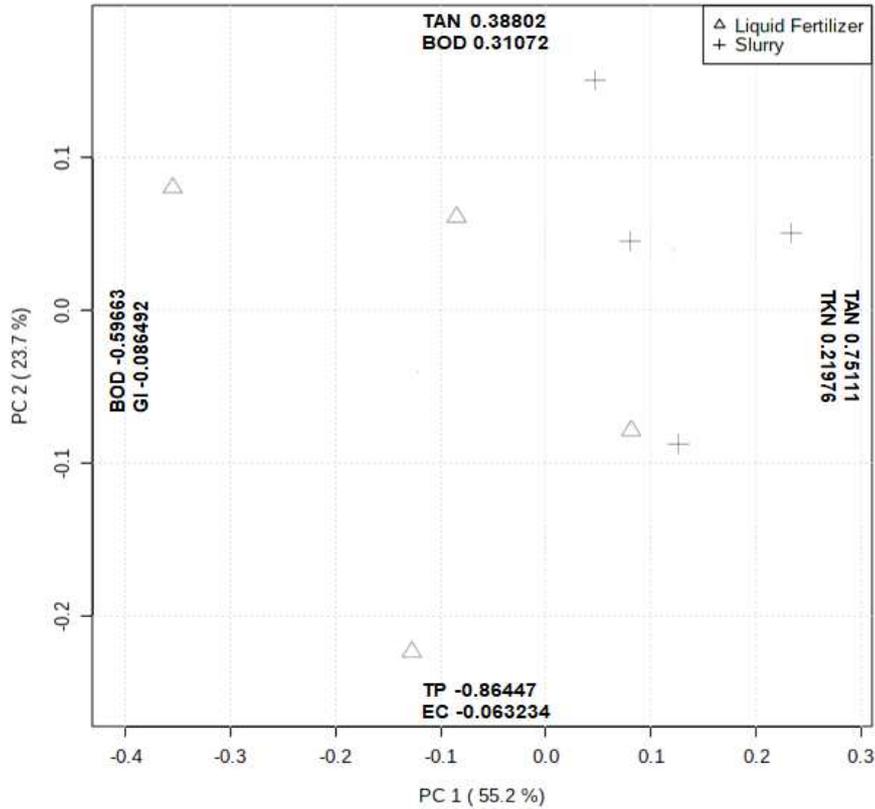
- ㄷ농장, ㄹ농장, ㄸ농장과 오성농장 액비와 슬러리의 고유한 특성을 효과적으로 나타내기 위하여 7종의 분석값들 (pH, EC, BOD, SS, TAN, TKN, TP, 부속도)를 이용하여 주성분 분석을 실시함.
- 주성분 분석 결과, 액비와 슬러리 샘플들은 총 변화량에 55.2%를 설명하는 PC 1에 의하여 비교적 뚜렷하게 분리됨(그림 26). 반면에, PC 2의 경우 총 변화량에 23.7%를 설명하며, 샘플들 간의 차이(액비와 슬러리를 구분하는 것이 아닌, 각 샘플들의 개체적 차이)를 나타냄.
- Loading value 값을 통해 액비와 슬러리의 차이를 극명하게 나타내는 요소(7개의 분석 요인들 중에서)를 분석한 결과 TAN (가장 큰 양수 값; 0.75111)과 BOD (가장 작은 음수 값; -0.59663)가 가장 크게 영향을 끼치는 것으로 확인 됨. 하지만, BOD의 경우 액비와 슬러리를 구분해주는 지표로써 해석하기엔 어려움이 있음.

- ㄷ농장, ㄱ농장, ㄴ농장과 ㄹ농장 슬러리의 BOD 측정값은 각각 0.05, 0.04, 0.03, 0.03 mg L⁻¹ 으로(표 10), 돈분의 평균적인 BOD 농도인 61,359 mg L⁻¹ 보다 과도하게 낮음 (축산기술연구소 2000). 이는 각 농장의 액비순환시스템이 안정화 되어 있지 않아 과도한 폭기조건으로 액비화를 실시하여 해당 결과가 나온 것으로 예상됨. 이를 보완하기 위하여 더 많은 샘플수로 동일한 분석을 실시함 (2020년).

<표 10. ㄷ농장, ㄱ농장, ㄴ농장, ㄹ농장, ㄱ농장 슬러리 및 액비 특성조사 (2019)>

샘플명 \ 단위	pH	EC	BOD	SS	NH ₄ -N	TKN	TP	부속도 (중자발아법)
		ms cm ⁻¹	mg L ⁻¹	발아지수 (GI) %				
ㄷ농장 슬러리	8.83	22.4	0.05	1,279	1,495	1,906	109	70.60
ㄷ농장 액비	8.60	23.1	0.12	1,279	262	2,002	360	75.78
ㄱ농장 슬러리	7.53	26.8	0.04	1,274	157	1,486	39	72.62
ㄱ농장 액비	7.85	22.2	0.18	1,270	54	1,095	35	110.57
ㄴ농장 슬러리	7.51	17.9	0.03	1,278	249	870	254	85.52
ㄴ농장 액비	7.91	15.5	0.04	1,271	7	859	321	78.73
ㄹ농장 슬러리	8.83	10.7	0.03	1,279	131	1,073	9	70.44
ㄹ농장 액비	8.60	9.8	3.00	1,277	14 *(1,254)	384	45	126.12
ㄱ농장 슬러리	8.4	18.3	-	-	1,611	-	-	-
ㄱ농장 액비	8.3	16.2	-	-	1,215	-	-	-

*1차 측정 후 2차 측정 시 측정값에 큰 변화를 보였다



*Liquid Fertilizer: 액비

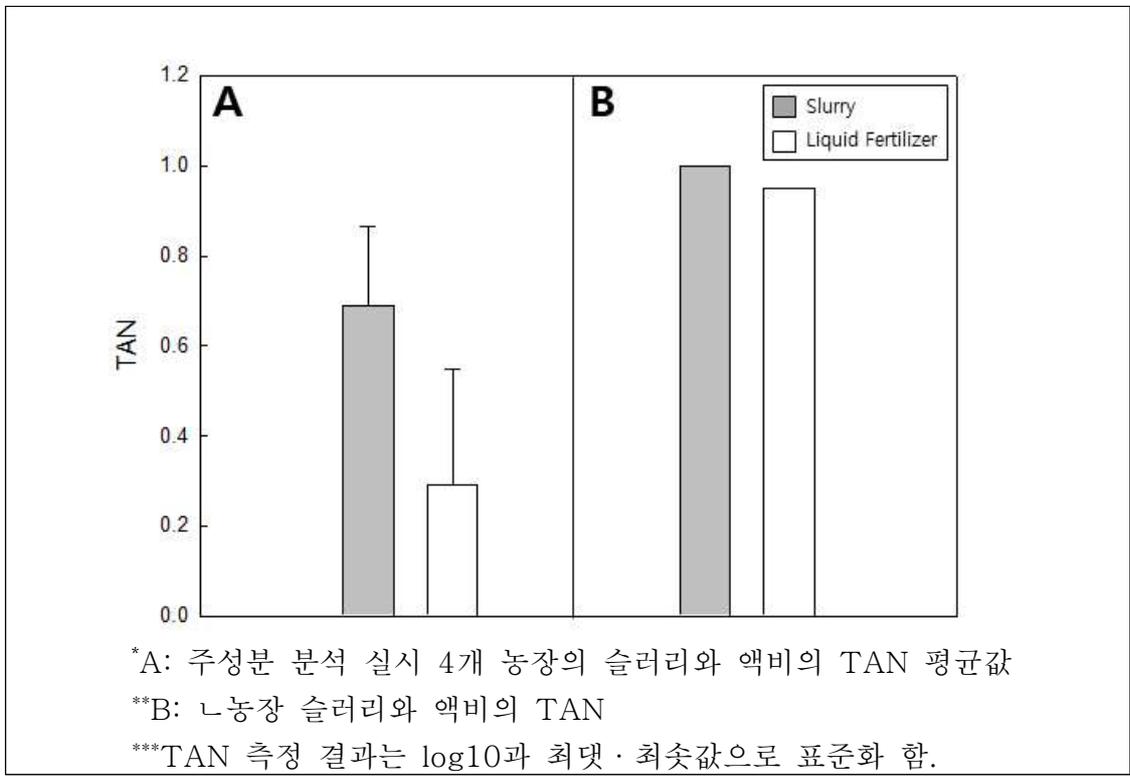
Slurry: 슬러리

위 그래프는 pH, EC, BOD, SS, TAN, TKN, TP와 부속도 측정 결과를 분석한 결과이다 (PCA 분석). 각 값은 \log_{10} , 최댓·최솟값으로 scaling 및 normalization 되었다.

<그림 26. *4개 농장 슬러리 및 액비 주성분분석 결과 (2019)>

*ㄷ농장, ㄱ농장, ㄹ농장, ㅈ농장

- 표 10을 참고했을 때, 태광농장 슬러리와 액비 샘플의 TAN 값이 다른 농장에 비해 비율상으로 차이가 크지 않음(그림 27). 따라서 해당 농장의 경우 TAN 값이 슬러리와 액비를 구분 짓는 데에 큰 기여를 했다고 보기 어렵고 그 이유로 액비 처리 공정이 안정화되지 않았기 때문으로 예상됨 .



<그림 27. 주성분분석 실시 4개 농장과 ㄴ농장의 슬러리와 액비 TAN 값 비교>

(4) ㄴ농장, ㄷ농장, ㅇ농장, ㅈ농장 슬러리·액비 대상 pH, EC, BOD, SS, TAN, TKN, TP, 부속도 분석

- ㄴ농장, ㄷ농장, ㅇ농장과 ㅈ농장의 슬러리와 액비의 고유한 특성을 효과적으로 나타내기 위하여 7종의 분석값들 (pH, EC, BOD, SS, TAN, TKN, TP, 부속도)를 이용하여 주성분 분석을 실시함. 주성분 분석 결과, 액비와 슬러리 샘플들은 총 변화량에 59.2%를 설명하는 PC 1 에 의하여 비교적 뚜렷하게 분리됨(그림 28).
- 반면에, PC 2 의 경우 총 변화량에 28.2%를 설명하며, 샘플들 간의 차이(액비와 슬러리를 구분하는 것이 아닌, 각 샘플들의 개별적 차이)를 나타내고 있다. Loading value 값을 통해 액비와 슬러리의 차이를 극명하게 나타내는 요소(7개의 분석 요인들 중에서)를 분석한 결과 TAN (가장 큰 양수 값; 0.64005)과 GI (가장 작은 음수 값; -0.43088)가 가장 크게 영향을 끼치는 것으로 확인 됨.
- 해당 분석과 2019년 실시한 동일한 분석(그림 26)을 토대로 슬러리와 액비의 차이를 극명하게 나타내는 요소는 TAN과 GI라고 판단함. 또한, 샘플들의 개개적인 차이를 보여주는 요소에 TAN이 포함되어 있으며, BOD 또한 2019년 분석에 의하여 중요성을 보여주었기에, 이들 또한 중요한 특성이라 판단할 수 있음.
- 부속도(GI)는 액비의 원료(슬러리)가 액비화 과정을 거쳐 식물과 토양에 대한 안정적인 반응을 나타내는 것으로, 액비의 주요한 특성임 (퇴비액비화기준 중 부속도 기준 등에 관한 고시 참조, 환경부고시 제2018-115호, 2018) (돈분의 TAN과 BOD의 경

우 먹이(feed)의 구성요소(crude protein level), 돈 연령, 청소 주기 등에 의하여 결정되어 진다 (Moral 등, 2008. F. Hernandez 등, 2011.).

- 이들을 모두 고려하면 BOD는 먹이, 돈 연령 등의 농장의 특성과 청소 주기 등의 관리 방법에 의해 영향을 받으며, 슬러리와 액비를 구분 지어주기보다는 개개의 특성을 나타냄. 부속도(GI)는 액비를 슬러리와 구분 지어주는 주요 요소이자 특성이며, TAN은 슬러리와 액비를 구분 지어주는 주요 요소이자, 먹이, 돈 연령 등의 농장의 특성 및 관리 방법에 의해 영향을 받는다 할 수 있음. 또한, TAN은 NH₃ 발생량에 영향을 끼치는 요소임으로, 주요하게 살펴보아야 할 요소로 판단됨(F. Montes 등, 2009. Lee 등, 2013).

<표 11. ㄴ농장, ㄹ농장, ㅇ농장, ㅈ농장 계절별 슬러리 및 액비 특성 분석. 2020년 2월(겨울철)>

샘플명	단위 pH	EC	BOD	SS	NH ₄ ⁻ _N	TKN	TP	부속도 (중자발아법)
		ms cm ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	발아지수 (GI) %
ㄴ농장 슬러리	7.66	-	-	-	-	2,232 .3	-	-
ㄴ농장 액비	7.48	-	-	-	-	277.1	-	-
ㄹ농장 슬러리	7.23	24.70	3600	3745 0	3926. 4	3,519	865.6	-
ㄹ농장 액비	7.95	10.59	626	1224	466.2	250.2	32.7	-
ㅇ농장 슬러리	-	-	-	-	-	-	-	-
ㅇ농장 액비	-	-	-	-	-	1,213. 8	-	-
ㅈ농장 슬러리	7.57	9.15	3125	1843 0	1017. 8	825.6	677.7	-
ㅈ농장 액비	7.97	8.82	675	6545	560.1	462	278.3	-

<표 12. ㄴ농장, ㄹ농장, ㅇ농장, ㅈ농장 계절별 슬러리 및 액비 특성 분석
-2020년 5월(봄철)>

단위 샘플명	pH	EC	BOD	SS	NH ₄ - N	TKN	TP	부속도 (중자발아 법)
		ms cm ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	발아지수 (GI) %
ㄴ농장 슬러리	7.73	12.15	-	-	970.0 0	674.0 0	-	0.00
ㄴ농장 액비	8.33	8.62	-	-	-	78.50	-	72.99
ㄹ농장 슬러리	-	-	-	-	-	2,197 .60	-	-
ㄹ농장 액비	-	-	-	-	-	410.5 0	-	-
ㅇ농장 슬러리	8.08	9.62	-	-	468.0 0	186.9 0	-	52.55
ㅇ농장 액비	7.79	10.47	-	-	-	160.8 0	-	74.45
ㅈ농장 슬러리	7.74	8.72	-	-	374.0 0	226.0 0	-	53.14
ㅈ농장 액비	7.73	8.04	-	-	-	69.80	-	78.83

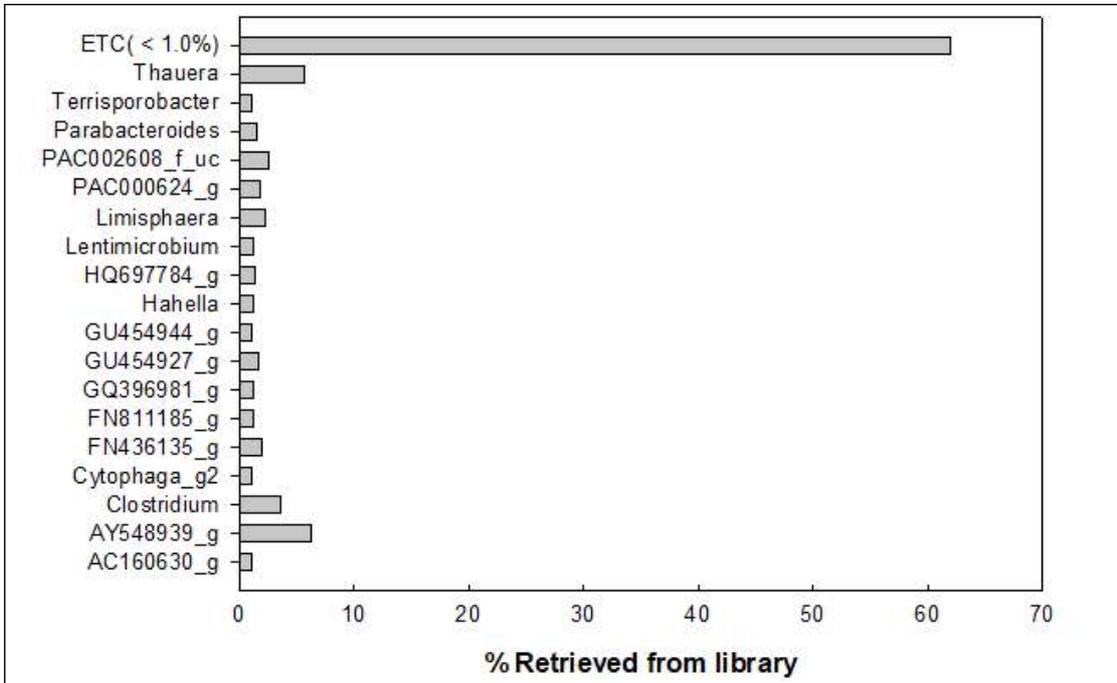
<표 13. ㄴ농장, ㄹ농장, ㄷ농장, ㅈ농장 계절별 슬러리 및 액비 특성 분석

-2020년 9월(여름철)>

단위 샘플명	pH	EC	BOD	SS	NH ₄ -N	TKN	TP	부속도 (중자발아법)
		ms cm ⁻¹	mg L ⁻¹	발아지수 (GI)%				
ㄴ농장 슬러리	7.80	7.99	514.5 0	1,600. 00	739.00	469.00	-	49.64
ㄴ농장 액비	8.13	9.51	468.0 0	1,120. 00	-	194.50	-	61.31
ㄹ농장 슬러리	7.79	16.53	2730. 00	4,000. 00	1730.0 0	1,040. 00	-	0.00
ㄹ농장 액비	8.50	10.52	326.0 0	1,850. 00	-	610.50	-	37.71
ㄷ농장 슬러리	7.82	12.27	580.1 0	3,933. 30	623.00	359.00	-	31.34
ㄷ농장 액비	7.96	10.00	420.0 0	9,450. 00	441.60	-	-	90.51
ㅈ농장 슬러리	7.72	7.91	403.8 0	2,600. 00	178.00	92.00	-	91.97
ㅈ농장 액비	8.12	8.04	259.5 0	2,220. 00	96.60	18.00	-	86.13

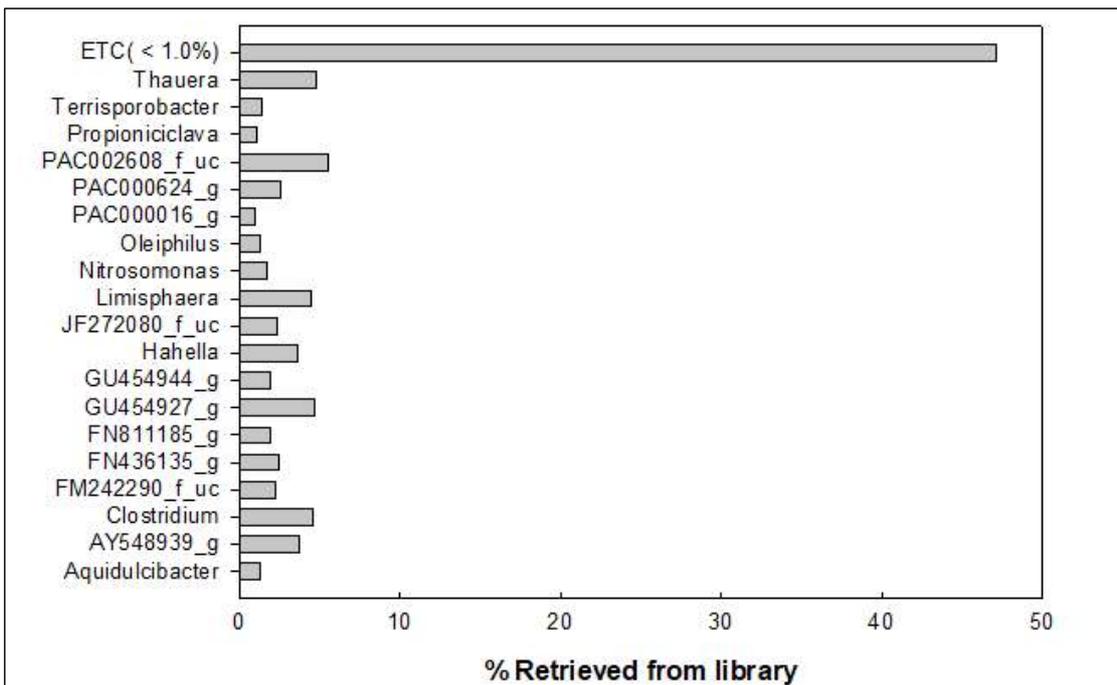
<표 14. ㄴ농장, ㄹ농장, ㅇ농장, ㅈ농장 계절별 슬러리 및 액비 특성 분석
-2020년 10월(가을철)>

단위 샘플명	pH	EC	BOD	SS	NH ₄ -N	TKN	TP	부숙도 (중자발아법)
		ms cm ⁻¹	mg L ⁻¹	발아지수 (GI)%				
ㄴ농장 슬러리	8.12	11.16	1,300.50	1,820.00	834.00	267.00	48.60	0.00
ㄴ농장 액비	7.69	8.88	29,995.00	3,650.00	578.20	129.00	93.40	90.51
ㄹ농장 슬러리	7.61	15.78	3,656.20	4,140.00	1,064.50	756.20	174.00	0.00
ㄹ농장 액비	7.89	55.20	261.30	1,140.00	671.40	129.00	248.50	0.00
ㅇ농장 슬러리	7.61	10.66	1,679.50	16,360.00	254.30	150.00	690.00	103.65
ㅇ농장 액비	7.89	9.65	1,157.00	12,533.30	251.90	30.00	440.00	81.75
ㅈ농장 슬러리	7.75	8.16	2,239.50	7,166.70	144.30	106.00	276.00	105.11
ㅈ농장 액비	7.82	7.99	1,327.00	5,833.30	163.90	31.50	180.00	108.03



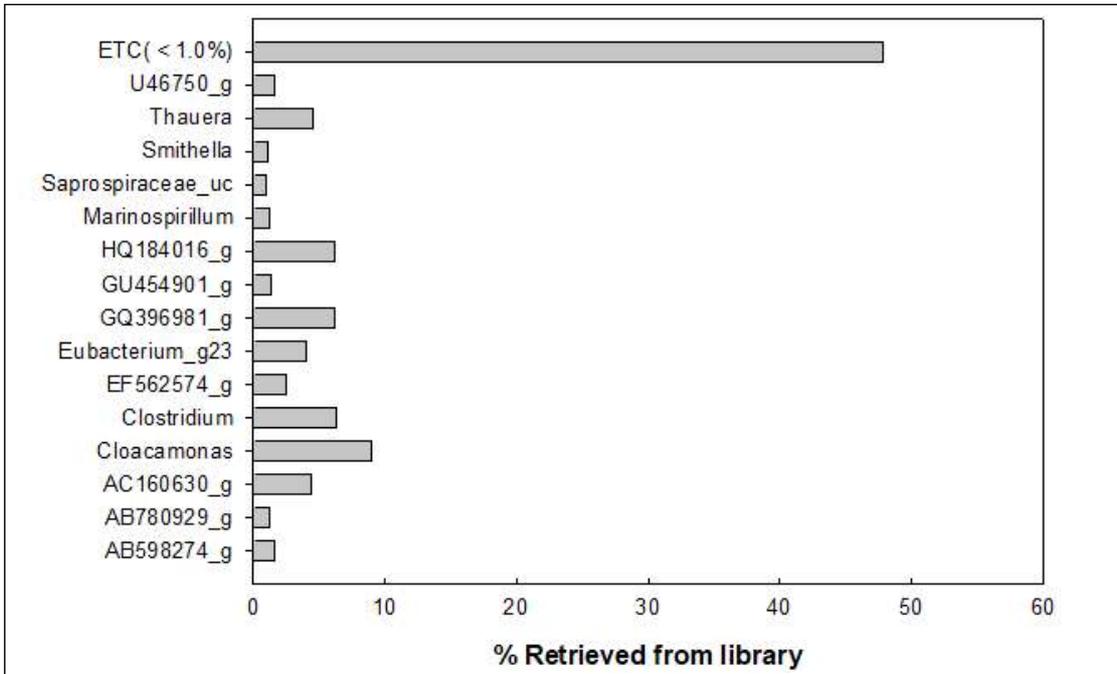
<그림 29. ㄴ농장 슬러리 미생물 군집 분석>

- ㄴ농장의 슬러리 16S rRNA 염기분석결과 총 4,963개의 속이 확인됨(그림 29). 그 중 Cloacamonas가 8.9%, Clostridium이 6.3%, GQ396981_g가 6.2%, HQ184016_g가 6.1%, Thauera가 4.5%를 차지하였다. 1% 미만의 개체들의 경우 기타(ETC)로 분류됨(47.8%).



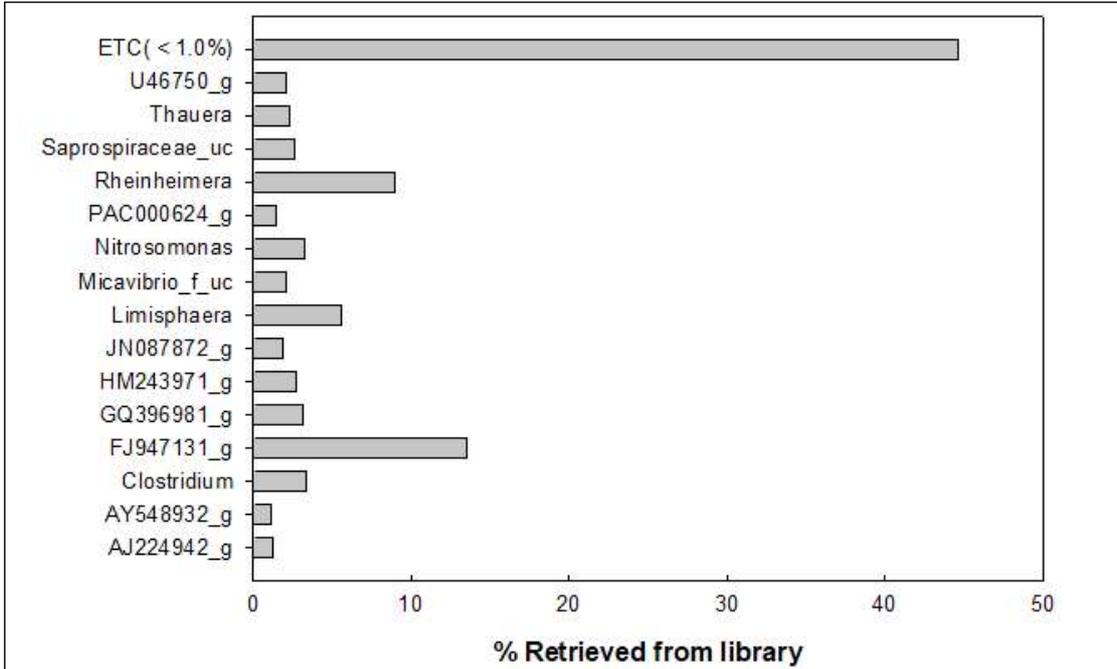
<그림 30. ㄴ농장 액비 미생물 군집 분석>

- ㄴ농장의 액비 16S rRNA 염기분석결과 총 6,448개의 속이 확인됨(그림 30). 그 중 FJ947131_g가 13.5%, Rheinheimera가 8.91%, Limisphaera가 5.6%, Clostridium이 3.4%, Nitrosomonas가 3.3%를 차지하였다. 1% 미만의 개체들의 경우 기타(ETC)로 분류됨(44.6%).



<그림 31. 초농장 슬러리 미생물 군집 분석>

- 초농장의 슬러리 16S rRNA 염기분석결과 총 5,836개의 속이 확인됨(그림 31). 그 중 AY548939_g가 6.2%, Thauera가 5.7%, Clostridium이 3.7%, PAC002608_f_uc가 2.5%, Limisphaera가 2.2%를 차지하였다. 1% 미만의 개체들의 경우 기타(ETC)로 분류됨 (62.0%).



<그림 32. 초농장 액비 미생물 군집 분석>

- 초농장의 액비 16S rRNA 염기분석결과 총 7,831개의 속이 확인됨(그림 32). 그 중 PAC002608_f_uc가 5.6%, Thauera가 4.8%, GU454927_g가 4.7%, Clostridium이 4.6%, Limisphaera가 4.4%를 차지함. 1% 미만의 개체들의 경우 기타(ETC)로 분류됨 (47.1%).

- ㄴ농장의 슬러리에는 냄새의 근원이 되는 물질을 생성하는 미생물들이 존재하는 것을 알 수 있음.
- ㄴ농장은 환절기 시 폭기조 4개조에 18-20 L 씩 *Bacillus subtilis* (고초균)을 첨가함. 하지만, 시료 채집 시기 상 첨가하지 않은 것으로 나타남. ㄴ농장의 액비의 특징을 결정지을 수 있는 미생물은 슬러리의 미생물과는 다르게 주로 호기성 미생물이고 주로 물이나 호수 등에서 발견됨.
 - 조사된 바에 따르면 *Rheinheimera*와 *Chryseobacterium*, AJ224942_g는 호기성 미생물로, *Rheinheimera*는 water sample에서 *Chryseobacterium*은 토양 또는 동물들의 배설물에서 발견됨. 이때, AJ224942_g는 암모니아 산화 미생물 군집에서 발견된 미생물로 NH₃ 산화에 효과적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 조사됨.
 - 따라서 ㄴ농장과 마찬가지로 ㄴ농장에서도 슬러리보다는 액비에서 악취 유발물질과 환경오염물질의 제거에 영향을 미치는 미생물이 특징적으로 나타났다고 할 수 있음.
 - ㄴ농장 슬러리의 미생물 특징은 GU454927_g, PAC002608_f_uc, *Alterococcus*, JN886909_g와 AY548939_g 이었고, 액비샘플 용액의 미생물 특징은 DQ677001_g, JF747991_g, HQ183936_g, EU775066_g, *Thalassolituus*이 나타남.
 - ㄴ농장 슬러리를 특정할 수 있는 미생물은 대부분 혐기성 미생물이거나 조건적 호기성 미생물임. 이를 통해 슬러리가 전반적으로 혐기성 상태(anaerobic digestion state)임을 확인할 수 있음. PAC002608_f_uc은 토양에 존재하는 미생물로, 슬러리 내에 토양 중 미생물이 혼합되어 있는 것으로 확인됨.
 - 이때, PAC002608_f_uc과 AY548939_g는 anaerobic ammonium oxidation (annamox) 조건 내에서 관찰될 수 있는 미생물인데 이러한 미생물의 존재로 보았을 때, 슬러리 내에서 NH₃의 혐기성 산화가 이루어지는 것으로 해석할 수 있음.
 - GU454927_g는 SCFAs (Short Chain Fatty Acids)와 같은 유기물을 이용하여 물질대사를 하고 *Alterococcus*는 글루코스를 이용하여 물질대사를 함. 유기물이 미생물에 의해 혐기성 소화가 되면 메탄이 발생할 수 있고 메탄은 황화수소와 만나 악취를 유발함.
 - ㄴ농장 순환 액비에는 질소 제거 미생물, 암모니아 산화 미생물들이 발견됨. DQ677001_g는 *Pseudomonas*, *Petrimonas*, *Thiopseudomonas*, *Lentimicrobium*, 그리고 *Porphyromonadaceae_uc*와 함께 BESs (Bioelectrochemical system)하에서 질소를 제거하는 속 (genus)으로 알려져 있음. HQ183936_g는 NH₃를 산화하는 미생물로, NH₃ 휘발을 감소시키는 역할을 할 수 있음.
 - 따라서 ㄴ농장의 경우, 오염물질을 제거하는 미생물이나 NH₃ 휘발을 감소시키는 미생

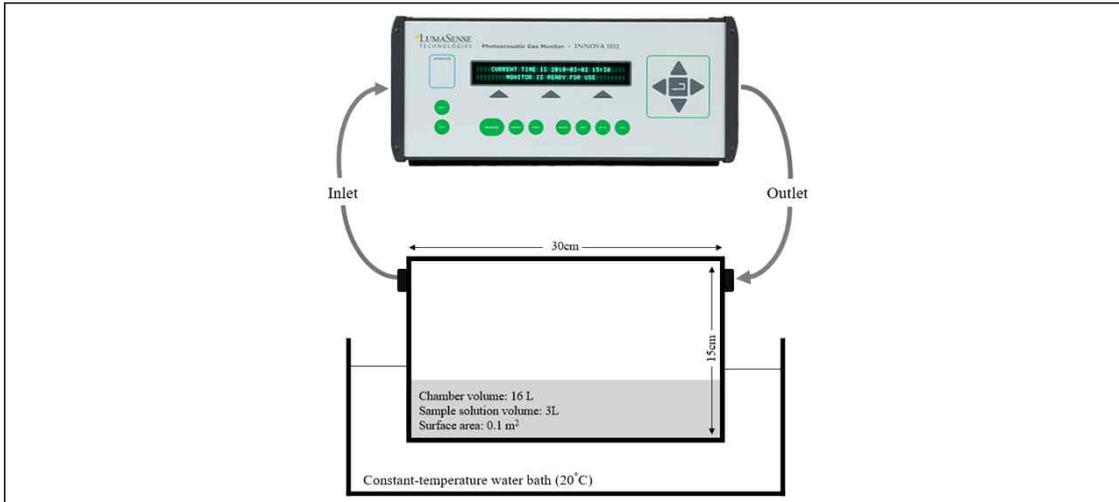
물이 슬러리보다 액비에 더 많은 영향을 미치는 것으로 확인됨.

라. 챔버를 활용한 NH₃ 배출률 기반의 평가법 제시

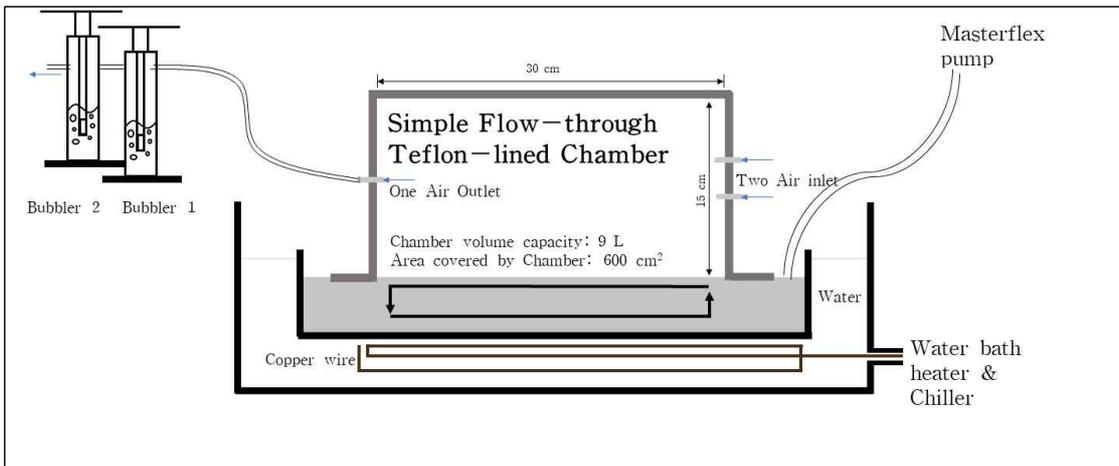
- 현장 평가 결과 NH₃의 농도가 대부분의 농장에서 높았으며, 슬러리와 액비를 구분하는데 가장 큰 기여를 한 성분은 TAN 농도였기에 NH₃ 배출률 기반의 평가법을 실시함. 현장 평가의 단점을 보완하기 위한 챔버를 활용한 NH₃ 배출률 기반의 평가법의 경우 챔버 포화 실험과 챔버 전량포집을 가정한 포집법을 활용한 실험을 사용함.
- 해당 평가법은 NH₃의 대기/물 표면(Air/liquid interface)의 농도포화 평형(NH₃ Concentration saturate time or Equilibrium point of ambient air within the chamber)에 의한 자연회산량을 전량(100% 가정)포집하여 분석함.
- 챔버 포화 실험의 경우 챔버 내 NH₃의 농도포화 평형에 도달하는 시간을 기준으로 계산하며, INNOVA1512(그림 8)를 이용하여 NH₃를 연속적으로 분석함(그림 34). 챔버 포화 실험 진행 중 환경샘플(슬러리 용액 혹은 액비)의 조건을 인위적으로 조정하거나 대조구 비교를 위해 합성시약[(NH₄)₂SO₄, pH 완충용액, 염 물질 등]을 용액에 첨가하여 챔버 세팅에 사용함.
- 샘플 용액의 온도 조건은 20℃였으며, 인공분뇨의 총 암모니아성 질소(Total Ammoniacal Nitrogen, TAN) 농도(TAN-N)는 [(NH₄)₂SO₄] 시약을 이용하여 질소 농도증가(N Spiking) 처리함(200, 2,500, 5,000, 7,500, 10,000 mg NH₄-N L⁻¹). pH 제어의 경우 pH 완충용액을 이용하여 각각 pH 7.0, 7.6, 8.0 으로 조절하였으며, SAS Dunnett test*를 통하여 포화시간을 확인함(10분).
- 인공분뇨를 이용한 pH제어 NH₃ 배출을 비교 또한 진행함. NH₃ 배출률 비교평가를 위한 단위(Unit)는 시간(hour) 당, 단위면적(m⁻²) 당 NH₃ 발생 질량(mg)을 기준으로 mg NH₃-N hr⁻¹ m⁻² 으로 정함. TAN은 D/W를 이용한 대기 중 NH₃를 제외한 농도 값과 2,000 mg NH₄-N L⁻¹ 부터 10,000 mg NH₄-N L⁻¹ 까지 총 5개 NH₃ 배출률 값을 각각 설정하여 측정함.
*Dunnett test : 실험군 간의 비교를 하지 않고 각 실험군과 대조군만 비교하는 one-way ANOVA (일원배치 분산분석)의 사후검정(Post Hoc test)이다. 단순히 대조군과의 비교만 원하는 경우 Dunnett 사후검정은 검정의 총횟수가 줄어들기 때문에 등분산&동일 크기의 집단의 분산분석에 대한 다른 사후검정인 Tucky검정이나 Duncan 검정보다 검정력이 높아 더 적절한 분석기법이다.
- 전량포집법의 경우 배출되는 NH₃를 챔버의 공기 배출구에 연결된 붕산용액(Boric acid)이 담긴 2개의 임핀저에서 포집함. 챔버 내부 표면에 대한 NH₃ 가스 흡착으로 인한 오차 최소화를 위하여 미세먼지의 생성 재현실험에 사용되는 smog chamber의 표면처럼 테플론 코팅을 하여 표면에 흡착되는 NH₃ 분자를 최소화함.
- 환경조건 별 샘플용액의 대기/물 표면으로부터 NH₃ 휘산의 음압(공기 주입구 2개, 공기 배출구 1개) 영향을 최소화 하였으며, 샘플 용액에 띄운 챔버의 높이 변화에 의한

압력변화 또한 방지함. 챔버에 연결된 공기펌프의 유량을 9 L min^{-1} (LPM)로 조절하여 챔버 내 휘산된 NH_3 를 매 1분을 주기로 전량(100%) 임핀저에 포집함.

- 직렬로 연결된 임핀저 중 두 번째 임핀저에서 포집된 NH_3 를 매 실험 시 확인하여 용액에서 휘산되는 NH_3 의 첫 번째 임핀저에서 전량 포집 유무를 확인함(그림 35). 해당 실험을 통하여 배출률 기반의 새로운 평가법의 사용여부를 확인하였으며, 실제 양돈장 슬러리 및 액비의 NH_3 배출량 평가 시 활용할 수 있을 것으로 판단됨.

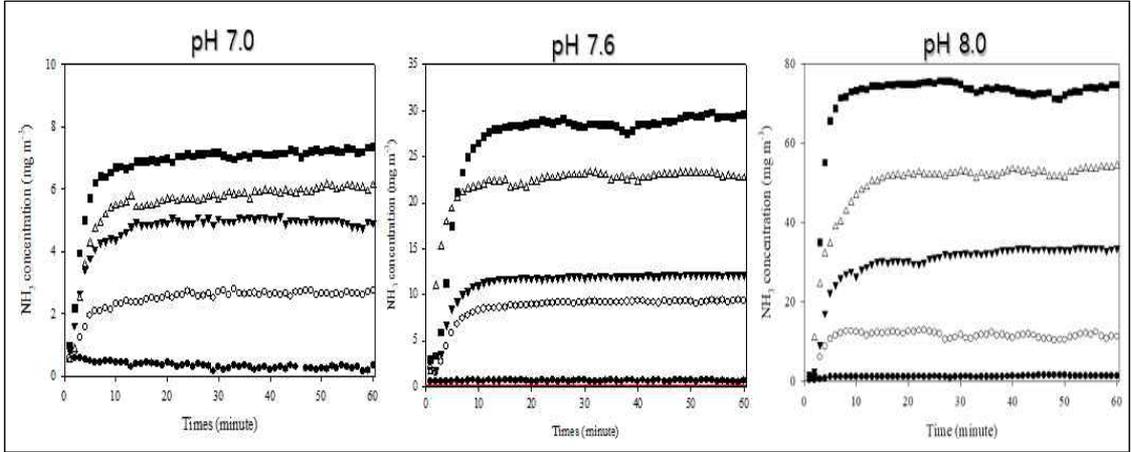


<그림 34. 챔버 포화 실험을 위한 INNOVA 1512 연결도>



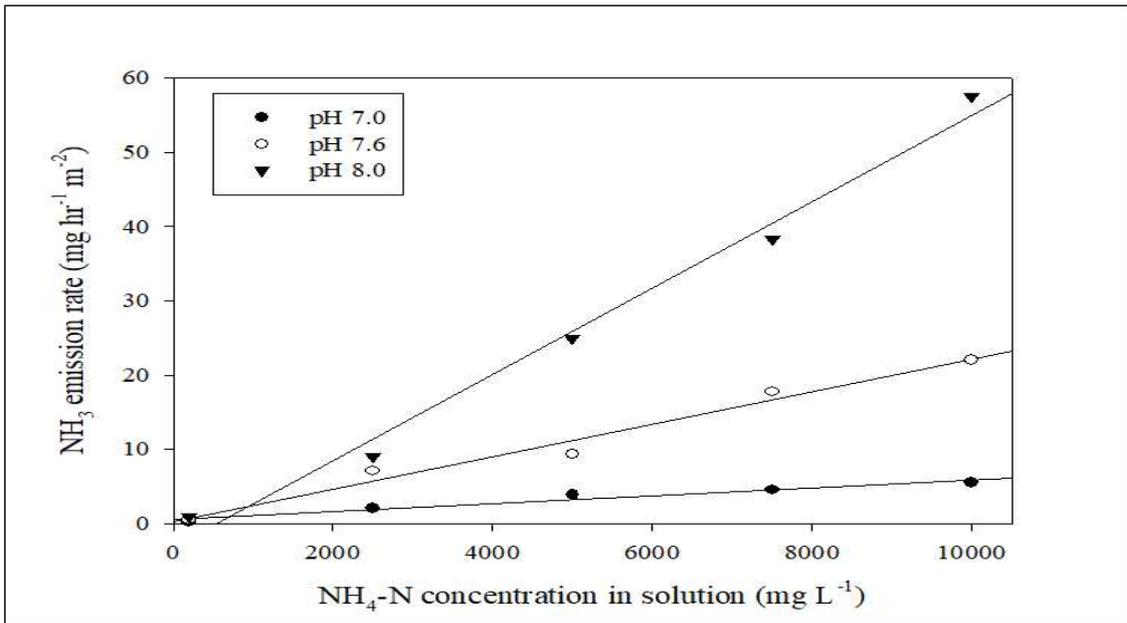
<그림 35. NH_3 배출능 평가를 위한 전량포집챔버 모식도>

(1) 챔버 포화 실험을 통한 인공분뇨의 TAN과 pH 조절 시 NH₃ 배출량 변화 평가



<그림 36. 챔버포화법 측정을 통한 pH 제어 암모니아 배출률>

- pH를 제어하며 챔버 포화 시험 결과, 샘플용액의 TAN-N 암모늄 농도가 증가함에 따라 NH₃ 평형도달 시간은 줄어드는 반면에 평형 농도값은 증가함. 또한, pH가 상승함에 따라 NH₃ 휘발량이 증가함(그림 36).
- pH 제어에 따른 각 pH 7.0, pH 7.6, pH 8.0 조절값에 대한 NH₃ 배출율은 $y = 0.0005x + 0.5641$ ($r^2=0.9578$), $y = 0.0022x + 0.3325$ ($r^2=0.9780$), $y = 0.0058x - 3.0788$ ($r^2=0.9873$) 에 해당하는 선형회귀식을 통해 증가된 NH₃ 용액 TAN에 따라 명확한 결과값을 보임(그림 37).

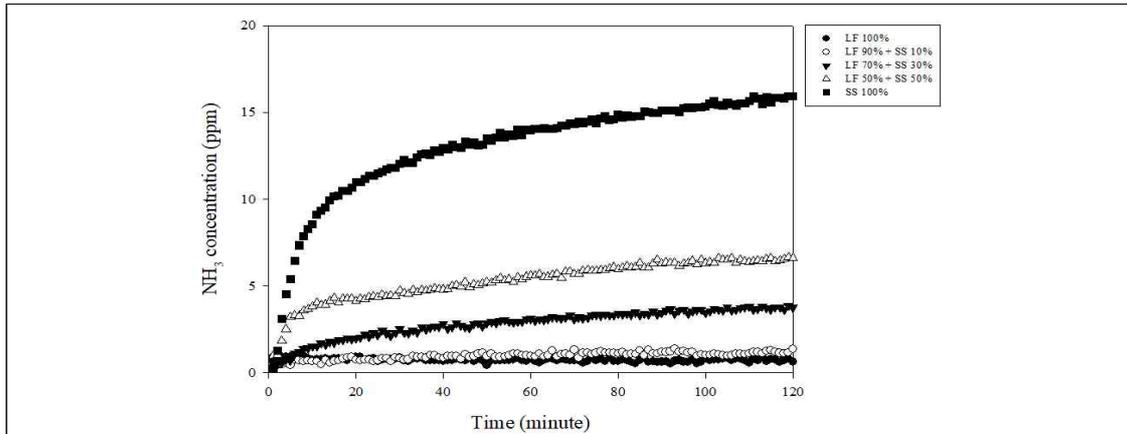


<그림 37. pH 조절(pH 7.0, 7.6, 8.0)에 따른 NH₃ 배출율 선형 추세선 확인>

(2) 챔버 포화 실험과 전량 포집 챔버를 통한 슬러리, 액비와 슬러리·액비 혼합시료의 TAN과 pH 조절 시 암모니아 배출량 변화 평가

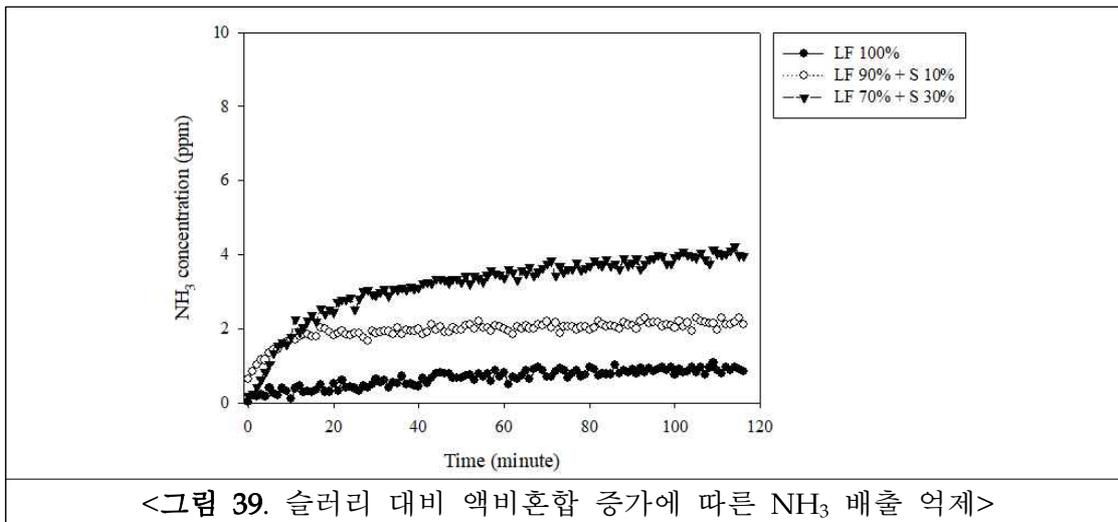
- INNOVA 1512를 사용하여 pH가 8.23으로 조절된 슬러리·액비 혼합 용액의 암모니

아 가스 변화를 실시간으로 분석한 결과, 슬러리의 암모니아 증강 배출률은 INNOVA 1512 실시간 분석기를 통하여서도 확연히 구분됨(그림 38). 또한, 액비에 슬러리의 혼합비율을 증가할수록 증강 배출율은 정의 상관을 보임.



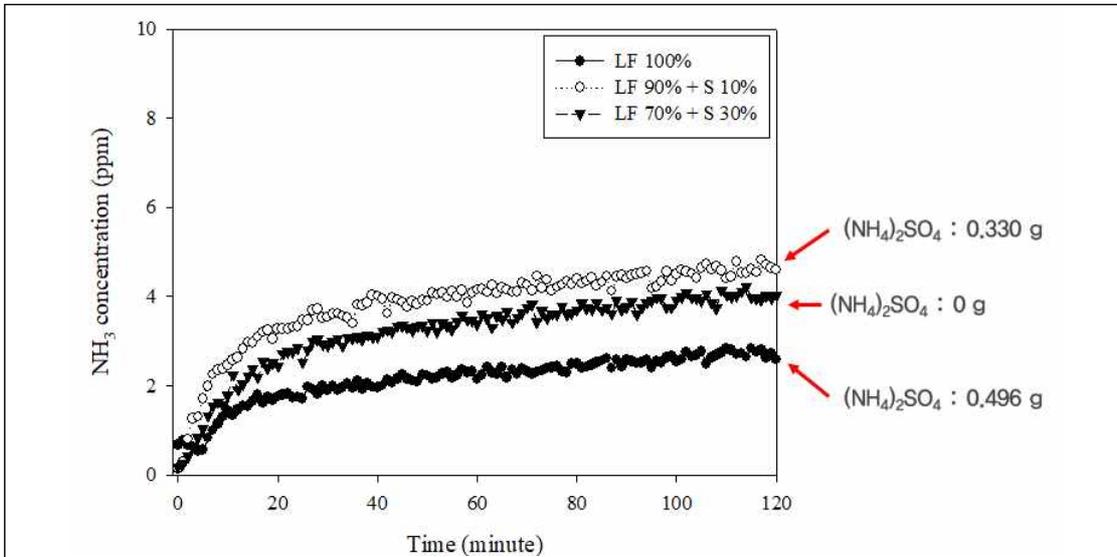
<그림 38. pH 제어 조건(pH 8.23)을 통한 NH₃ 증강배출 >

- INNOVA 1512를 사용하여 pH를 8.23으로, TAN을 49.3 mg NH₄-N L⁻¹로 조절된 슬러리·액비 혼합 용액의 NH₃ 가스 변화량을 실시간으로 분석한 결과, 일정 pH 조건 하에 TAN을 49.3 mg NH₄-N L⁻¹ 수준으로 조정 한 경우에도 슬러리에 대한 액비의 NH₃ 배출억제(Suppression) 특성을 확인할 수 있었음(그림 39).



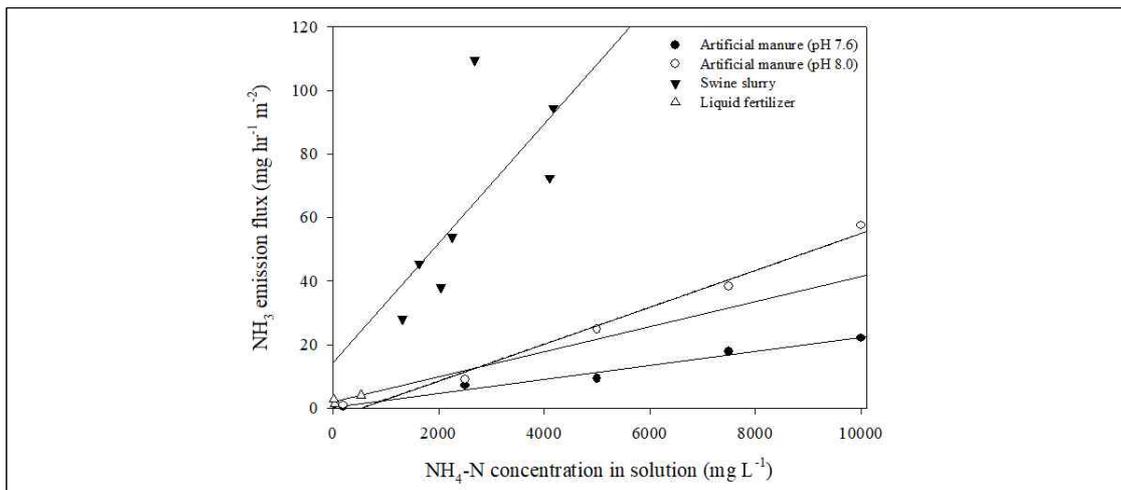
<그림 39. 슬러리 대비 액비혼합 증가에 따른 NH₃ 배출 억제>

- INNOVA 1512를 사용하여 액비와 인위적으로 TAN 농도 조절(N Spiking)을 한 슬러리·액비 혼합 용액의 NH₃ 배출농도를 비교하였을 때, 후자가 더 높은 것을 확인할 수 있었음(그림 40).



<그림 40. 질소 농도 스파이킹 처리에 대한 액비 및 혼합용액의 NH₃ 배출률 비교>

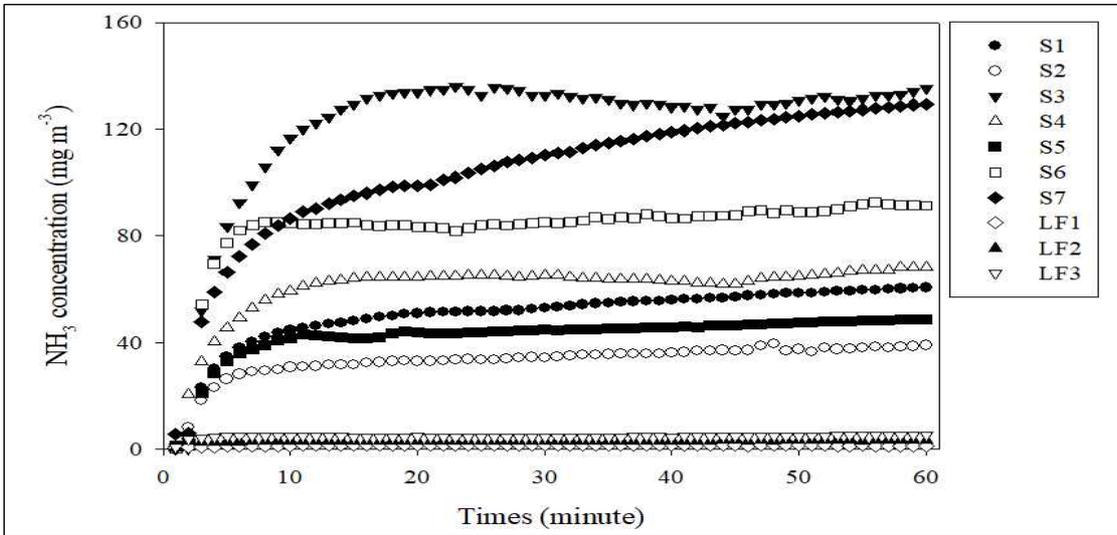
- 전량포집 챔버 실험을 통하여 pH 7.6 및 pH 8.0로 조절된 인공분뇨 TAN용액에 대한 NH₃ 배출율과 비교하여 슬러리의 배출률은 최대 5배 이상 증강된 측정값을 보임(그림 41). 온도 및 pH가 조절되지 않은 대조구 비교만으로도 현장샘플(슬러리 및 액비)의 단순 환경조건에 대한 배출증강 효과만이 아니라, 샘플특성으로 배출률이 상이할 수 있다는 것을 확인함. 챔버 포화평가법과 챔버 전량포집법 적용 실험을 통하여 낮은 TAN 값을 갖는 액비 샘플용액은 질소 Spiking을 통해 배출률 변화를 명확히 확인할 수 있다고 판단됨.



<그림 41. 인공슬러리 대비 슬러리와 액비의 NH₃ 증강 배출률 >

(3) 챔버 포화 실험을 활용한 배출계수 기반의 슬러리 악취 평가

- 챔버 포화 실험을 활용한 액비, 슬러리 및 액비·슬러리 혼합액 관찰결과 인공분뇨에 비해 매우 복합이질적 (heterogeneous)인 현장시료로서 포화 시점 및 포화율이 상이하게 나타남(그림 42).



<그림 42. 슬러리(S1-7) 및 액비(LF1-3) 샘플용액을 이용한 챔버 내 NH₃ 포화 추세 곡선>

- 시료에서의 암모늄 농도가 동일할 때, 휘발되는 NH₃의 양은 인공분뇨, 액비, 슬러리에 따라 구별었으며, 각각의 샘플 용액에 특성에 따라 고유의 배출률을 보이는 것으로 확인됨. 이에 정확한 원인규명을 위하여 온도, pH, 암모늄 농도 조절을 통한 연구가 필요할 것으로 판단됨.

마. 환경조건 제어 챔버 기반 슬러리 및 액비 유래 NH₃ 배출량 평가

- 액비순환시스템 적용 슬러리 및 액비의 악취유발물질(NH₃) 배출량은 챔버 기술(2차년도 환경제어 챔버 악취 배출을 평가법 개발)을 활용하여 측정함. 돈사 악취 모니터링 측정의 한계점을 극복하기 위하여 실행한 액비순환시스템 적용 슬러리 및 액비 악취유발물질 (NH₃) 측정의 장점으로는 지속적인 시간 동안 슬러리와 액비의 NH₃ 발생량을 정확하게 측정할 수 있다는 것임.
- 돈사 내에서의 측정의 경우 온도변화, 습도, 비육돈 및 작업자의 활동 등 다양한 변수가 존재하지만, 챔버기술을 활용하여 순수한 NH₃ 휘산량을 확인함. 슬러리 및 액비는 pH가 상승함에 따라 NH₃ 휘산량이 증가하고, 긴 실험시간으로 인하여 pH값이 변화할 수 있기에 시료와 pH buffer를 5:5의 비율로 혼합하였고, 7.6의 적정 pH를 유지함.
- 실험실 온도의 경우 실온을 유지하였으며, 중탕 용액의 온도는 정밀 냉동/가열 배스 겸용 써큘레이터(-25+150℃ Internal/External Digital Precise Refrigerated/Heating Bath Circulator, MaXircu™ CR-12, Daihan Scientific, Korea)를 이용하여 조절함(그림 43). 중탕 용액과 실험 용액 각각에 온도계(Fisherbrand™ Traceable™ Memory-Loc™ Datalogging Thermometer, Thermo Fisher Scientific Inc., USA)를 설치하여 지속적으로 확인하여 온도를 일정하게 유지함(20±0.1℃)(그림 44).
- 또한, 실험 시 지속적인 액비 순환 및 내부 농도 평형을 유지하기 위하여 마스터플렉스 펌프(Masterflex L/C precision variable speed drive & Masterflex L/S® Easy-Load® II Pump Head for Precision Tubing, PPS Housing, SS Rotor, Cole-Palmer, USA)를 이용하여 챔버 내 시료를 0.5 L min⁻¹의 속도로 순환시킴(그림 45). 이를 통하여 실험 진행 중 실험 용액 내 부유 고형물의 침전을 방지함. 포집된 NH₃는 킬달 증류장치를 이용하여 분석함.
- 각 농장의 슬러리와 액비의 악취유발물질 배출량을 확인한 후, 액비순환 시스템의 효율성을 검증하기 위하여 동일한 실험 방법으로 슬러리와 액비의 혼합용액의 악취물질 발생량을 측정함. 각 농장의 슬러리와 액비는 임의의 비율로 배합되었으며, pH buffer와 5:5의 비율로 혼합되어 준비함.
- 각 실험 결과값을 동일선상에서 비교하기 위하여 시료의 TAN 농도를 황산암모늄 (Ammonium sulfate, [(NH₄)₂SO₄]) 시약을 이용하여 조절함(N Spiking). 실험의 경우 각각 최소 3반복으로 실시되었으며, 실험값에 대한 통계분석은 R studio(R Studio, Boston, MA, USA)을 이용하여 엘에스디 테스트(least significant difference test, LSD test)*를 진행함.
*엘에스디 테스트(least significant difference test, LSD test): 각각의 실험값의 평균에 대하여 서로간의 유의성을 검사하는 다중평균분석 방법이다.
- 챔버 포화법과 전량 포집법을 통한 NH₃ 배출은 대기/물 표면(Air/liquid interface)의 농도포화 평형을 기준으로 평가함. 따라서, 실험결과를 바탕으로 액비순환시스템 적용 피트

슬러리의 NH₃ 배출량 산정 시 피트 슬러리의 대기/물 표면 넓이를 이용함. 슬러리와 액비 혼합 실험을 진행한 농장의 둔사를 대상으로 피트 슬러리 넓이 조사를 실시하였고 (구두 조사 및 평균 면적 이용), 이를 바탕으로 액비순환시스템 적용 피트 슬러리의 NH₃ 배출량을 산정함.



<그림 43. 냉동/가열 배스 겸용 써큘레이터(DAIHAN[®] -25+150°C Internal/External Digital Precise Refrigerated/Heating Bath Circulator "MaXircu™ CR)>

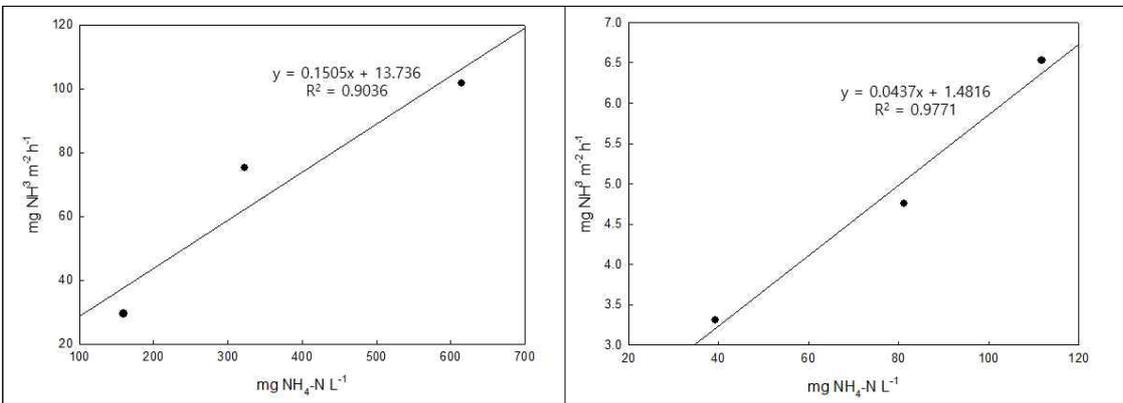


<그림 44. 온도계(Fisherbrand™ Traceable™ Memory-Loc™ Datalogging Thermometer, Thermo Fisher Scientific Inc., USA)>



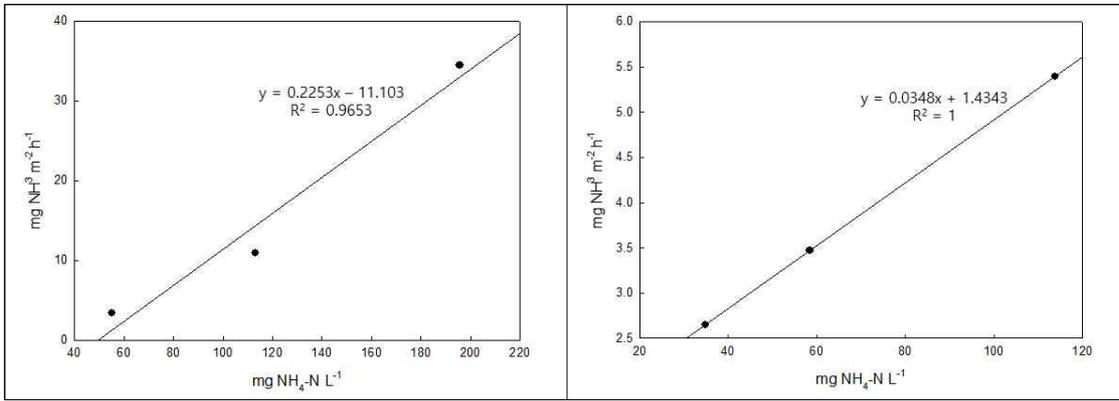
<그림 45. 마스터플렉스 펌프(Masterflex L/C precision variable speed drive & Masterflex L/S[®] Easy-Load[®] II Pump Head for Precision Tubing, PPS Housing, SS Rotor, Cole-Palmer, USA)>

(1) 액비순환시스템 적용 슬러리 및 액비 NH₃ 배출량 측정



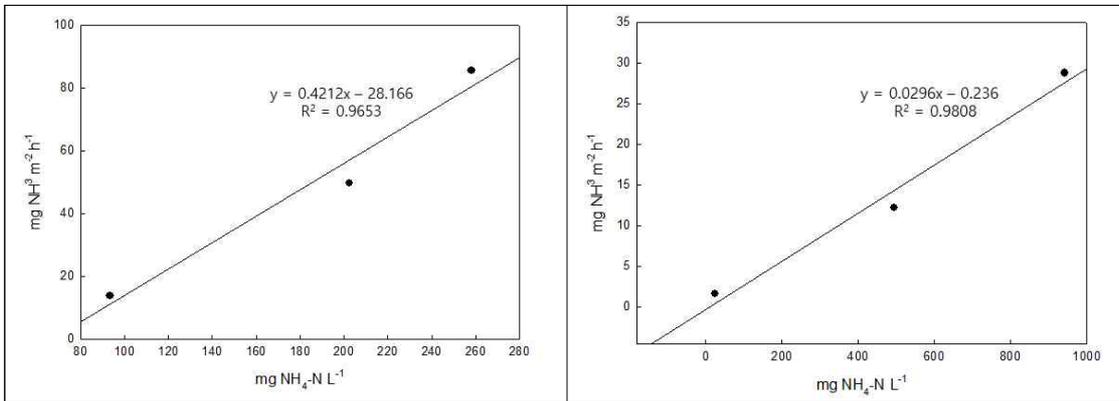
<그림 46. ㄴ농장 슬러리 및 액비의 악취유발물질 발생량 선형회귀모델>

- ㄴ농장의 경우 슬러리의 악취유발물질 발생량의 선형회귀모델 그래프의 R2값은 0.9036 이며, 식은 $y=0.1505x+13.736$ 임. 액비의 악취유발물질 발생량의 선형회귀 모델 그래프의 R2값은 0.9771 이며, 식은 $y=0.0437x+1.4816$ 이다. 동일한 TAN 값 (1000 mg NH₄-N)을 보유하고 있다고 가정하였을 시 슬러리의 경우 순환 액비보다 약 3.64배 더 많은 악취유발물질을 배출하는 것으로 판단됨.



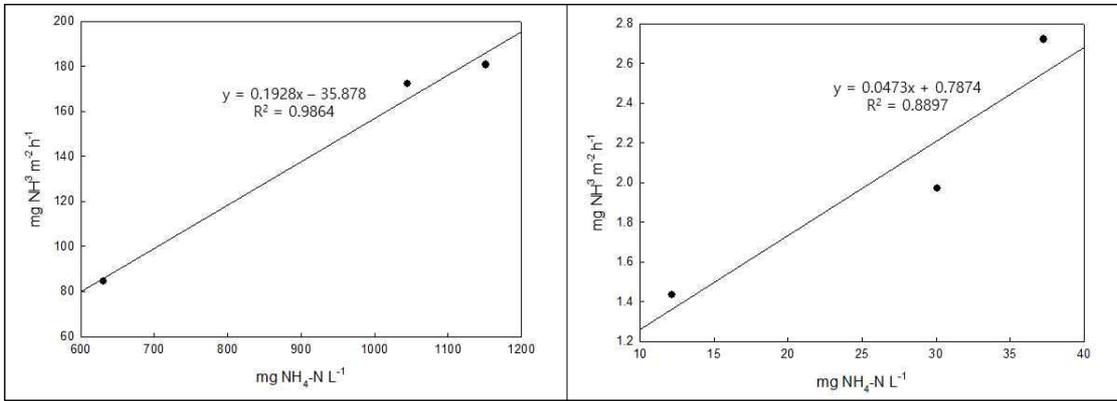
<그림 47. 돼농장 슬러리 및 액비의 악취유발물질 발생량 선형회귀모델>

- 돼농장의 경우 슬러리의 악취유발물질 발생량의 선형회귀모델 그래프의 R²값은 0.9653 이며, 식은 $y=0.2253x-11.103$ 임. 액비의 악취유발물질 발생량의 선형회귀 모델 그래프의 R²값은 1 이며, 식은 $y=0.0348x+1.4343$ 이다. 동일한 TAN 값 (1,000 mg NH₄-N)을 보유하고 있다고 가정하였을 시 슬러리의 경우 순환 액비보다 약 5.91배 더 많은 악취유발물질을 배출하는 것으로 판단됨.



<그림 48. 돼농장 슬러리 및 액비의 악취유발물질 발생량 선형회귀모델>

- 돼농장의 경우 슬러리의 악취유발물질 발생량의 선형회귀모델 그래프의 R²값은 0.9653 이며, 식은 $y=0.4212x-28.166$ 임. 액비의 악취유발물질 발생량의 선형회귀 모델 그래프의 R²값은 0.9808 이며, 식은 $y=0.0296x-0.236$ 이다. 동일한 TAN 값 (1,000 mg NH₄-N)을 보유하고 있다고 가정하였을 시 슬러리의 경우 순환 액비보다 약 13.38배 더 많은 악취유발물질을 배출하는 것으로 판단됨.

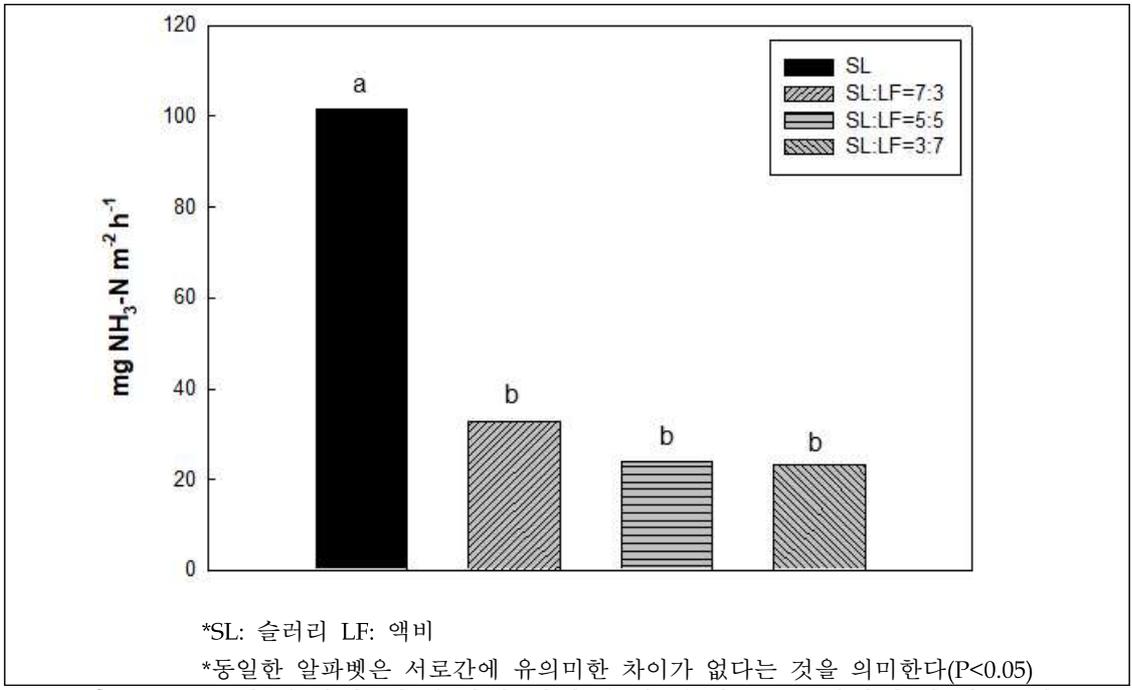


<그림 49. 근농장 슬러리 및 액비의 악취유발물질 발생량 선형회귀모델>

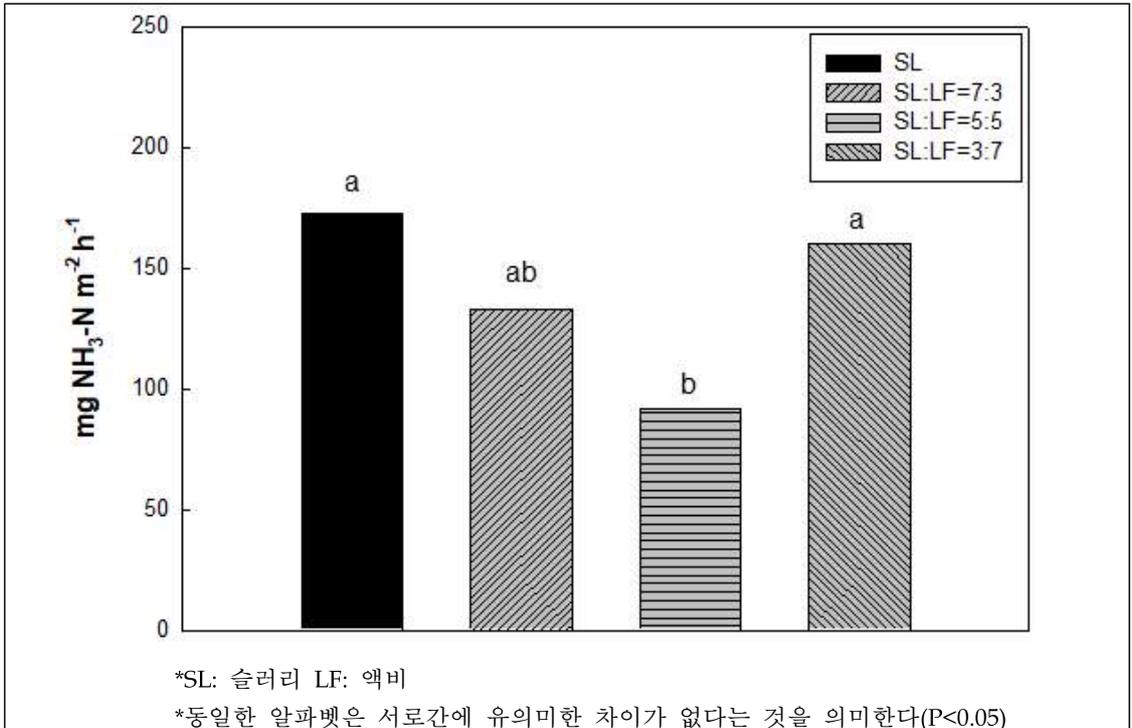
- 근농장의 경우 슬러리의 악취유발물질 발생량의 선형회귀모델 그래프의 R²값은 0.9864 이며, 식은 $y=0.1928x-35.878$ 임. 액비의 악취유발물질 발생량의 선형회귀 모델 그래프의 R²값은 0.8897 이며, 식은 $y=0.0473x+0.7874$ 임. 동일한 TAN 값 (1,000 mg NH₄-N)을 보유하고 있다고 가정하였을 시 슬러리의 경우 순환 액비보다 약 3.26배 더 많은 악취유발물질을 배출하는 것으로 판단됨.

(2) 액비순환시스템 적용 슬러리·액비 혼합 시료의 NH₃ 배출량 측정

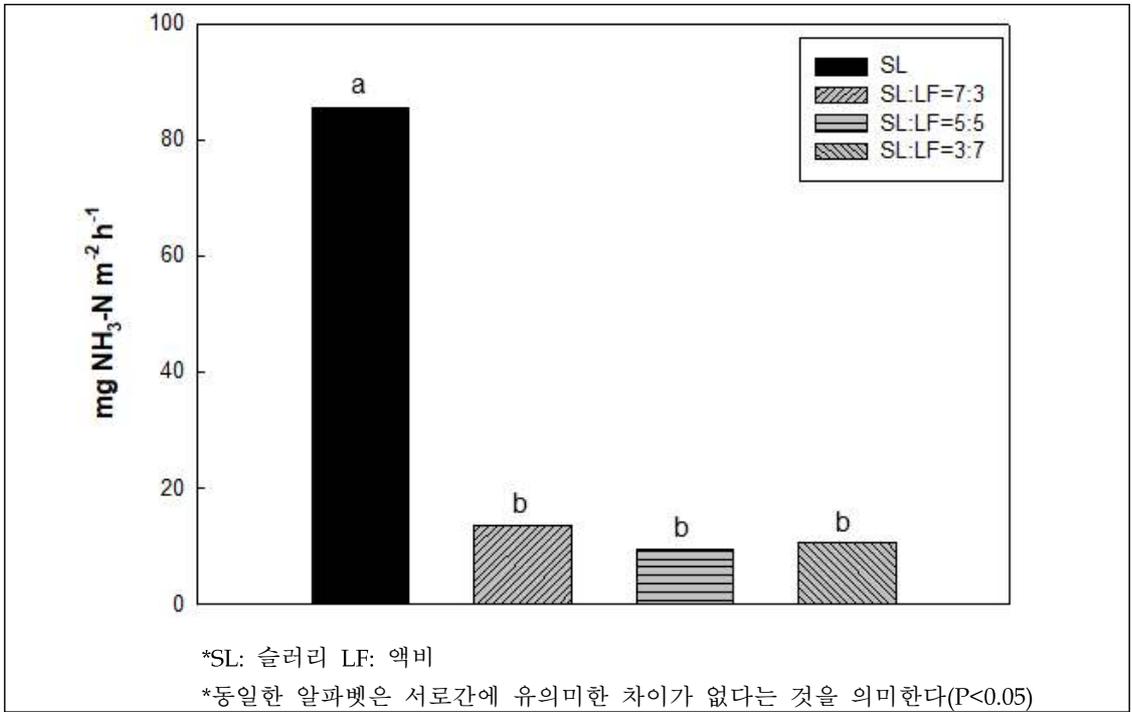
- 슬러리 및 액비의 NH₃ 휘산량을 확인한 후, 액비순환시스템 가동 시 실질적인 악취저감 효과를 확인하기 위하여 슬러리와 순환 액비를 혼합하여 악취유발물질 발생량을 측정함.
- 농장주에게 구두로 조사한 결과 슬러리와 액비의 혼합비율은 매번 다르기 때문에 정확히 확인할 수 없었기에, 슬러리·액비 혼합샘플은 임의의 7:3, 5:5, 3:7 비율로 혼합함. 각각의 NH₃ 휘산량의 실질적인 비교를 위하여 TAN값은 [(NH₄)₂SO₄]를 이용하여 1000 mg NH₄-N L⁻¹ 로 통일시킴(N Spiking). 실험의 경우 각각 최소 3반복으로 실시되었으며, R studio를 활용한 엘에스디 테스트(least significant difference test, LSD test)를 통하여 통계적인 분석을 실시함. 혼합용액들의 악취유발물질 휘산량 그래프는 다음과 같음.



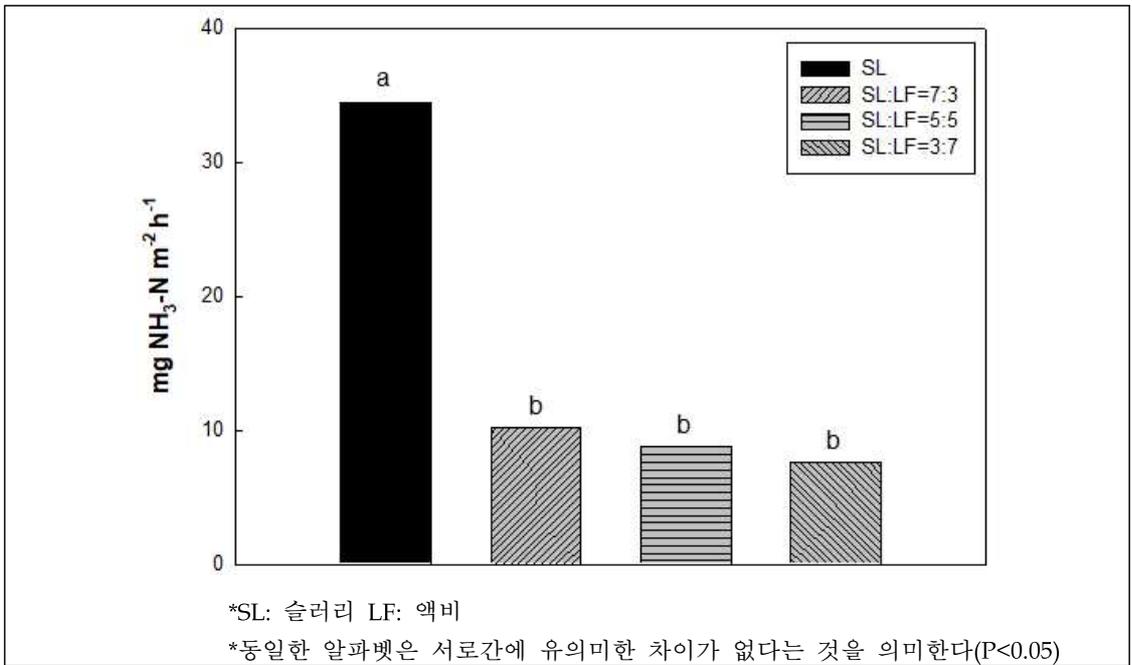
<그림 50. 소농장 슬러리 및 슬러리·액비 혼합 용액 NH₃ 휘산량 측정 그래프>



<그림 51. 큰농장 슬러리 및 슬러리·액비 혼합 용액 NH₃ 휘산량 측정 그래프>



<그림 52. ○농장 슬러리 및 슬러리·액비 혼합 용액 NH₃ 휘산량 측정 그래프>

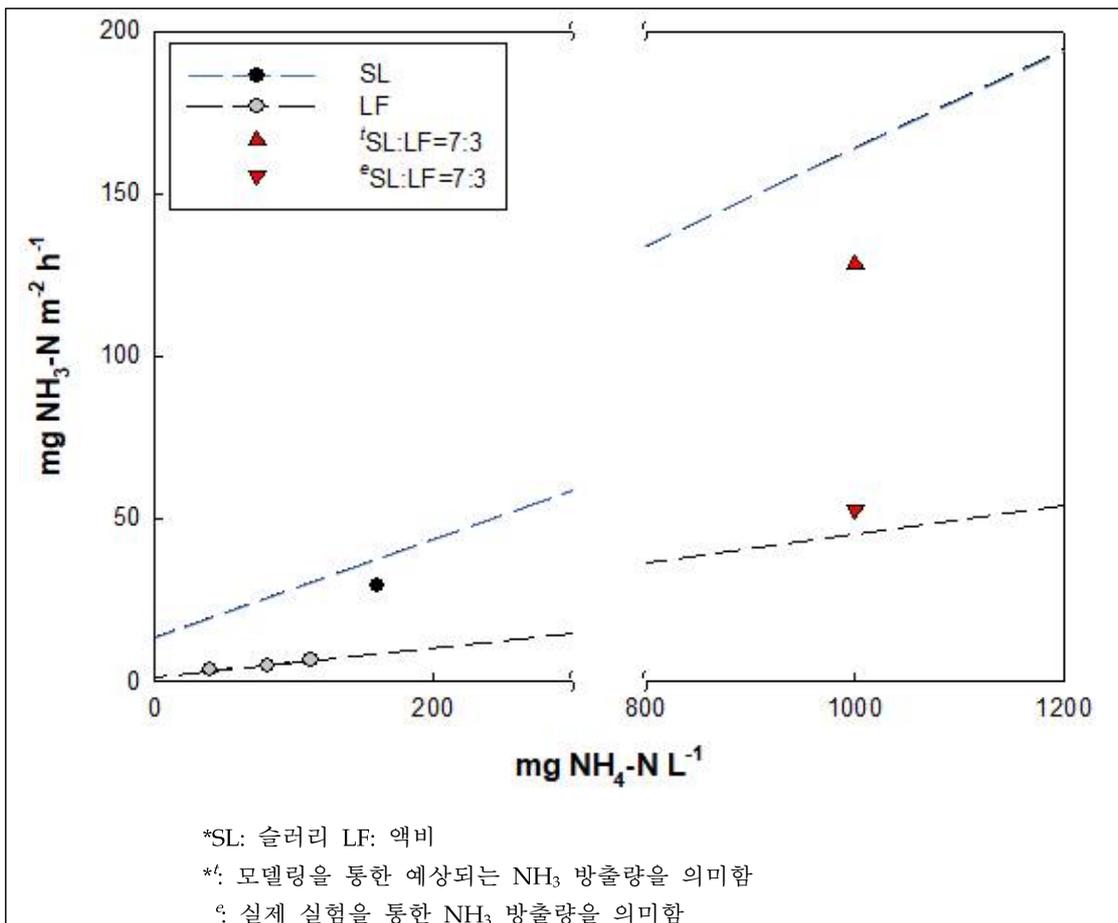


<그림 53. ♀농장 슬러리 및 슬러리·액비 혼합 용액 NH₃ 휘산량 측정 그래프>

- 태광농장의 경우 7:3, 5:5, 3:7 비율로 혼합 시 각각 68%, 76%, 그리고 77%의 악취 저감 효과를 보임(그림 50). 창업축산의 경우 7:3 비율로 혼합 시 47%의 악취 저감 효과를 보였으며, 5:5와 3:7 비율 혼합의 경우 큰 영향을 보이지 않음(그림 51). 낙원농장의 경우 7:3, 5:5, 3:7 비율로 혼합 시 각각 84%, 89%, 그리고 88%의 악취 저감 효과를 보임(그림 52). 오성농장의 경우 7:3, 5:5, 3:7 비율로 혼합 시 각각 70%, 74%, 그리고 80%의 악취 저감 효과를 보임(그림 53).

- 슬러리·순환 액비 혼합 시료 시험 결과, 슬러리와 액비 혼합 시 동일 용존암재악취 (TAN) 기준 슬러리와 비교하여 혼합 시료는 최대 약 90%에서 최소 47%까지의 악취저감 효과가 존재한다는 것을 확인함.
- 해당 실험을 통하여 TAN이 동일할 경우, 슬러리에 대비하여 혼합 시료의 악취유발물질 방출량이 감소한다는 것을 확인함. 해당 실험을 진행하며 TAN은 물론, pH (pH buffer 투입 및 pH 조절), 온도 (모든 실험 온도 조건 동일하게 통제), 대기의 NH₃ 농도 (적정 유속·유량으로 대기순환을 통제하여 음압을 제거하고, 전량 포집을 실현함) 등 악취유발물질 방출량에 영향을 끼칠 수 있는 조건을 통일시킴.
- 동일한 TAN 농도에서 혼합비율이 다른 시료의 NH₃ 방출량이 서로 다른 결과를 보인 것은 그 외의 요인이 존재하는 것으로 예상되며, 이를 보다 확실하게 확인하기 위하여 혼합 시료의 악취유발물질 방출량을 예상 시료의 악취유발물질 방출량과 비교함. 예상 악취유발물질 방출량은 슬러리와 순환 액비의 혼합비율에 의거하여, 동일 TAN 조건에서의 방출량을 비율에 맞추어 계산함*.

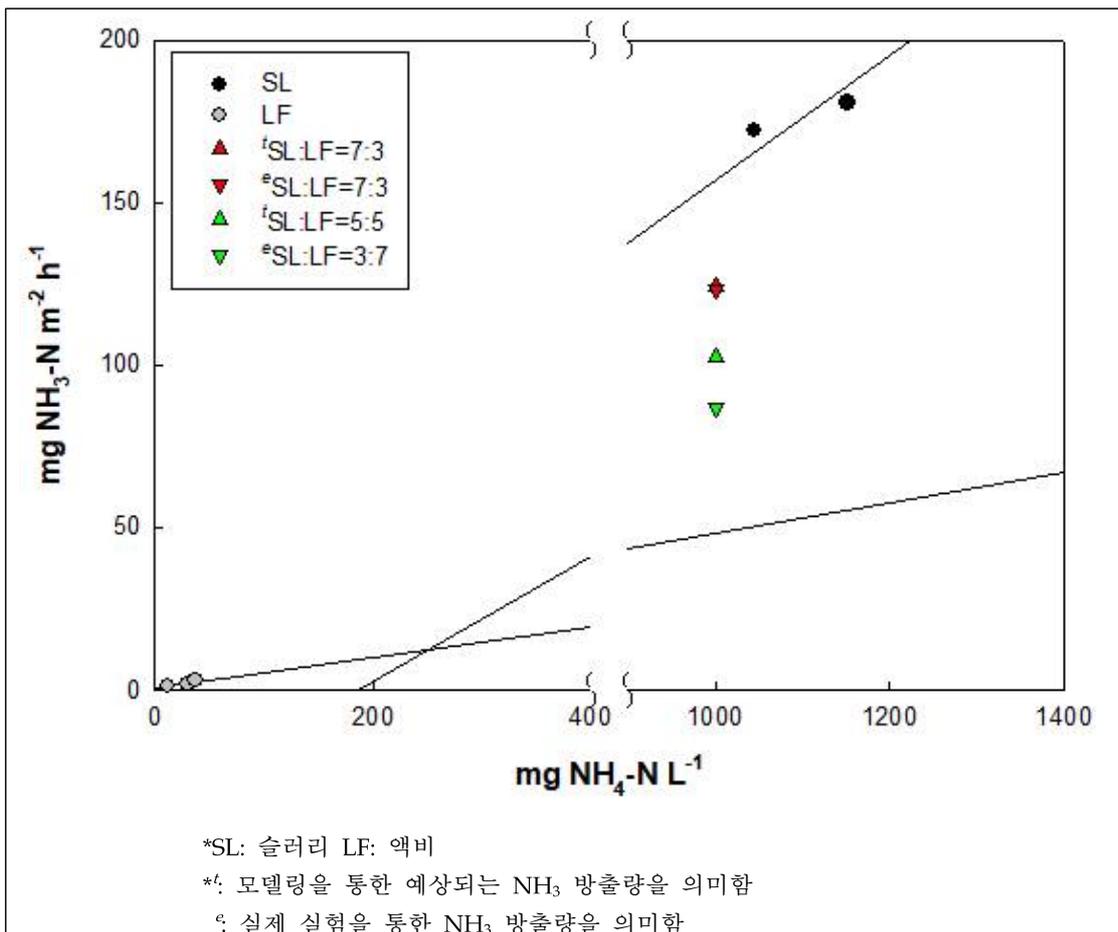
*슬러리·순환 액비 혼합 비율이 7:3일 경우, 각각의 시료(슬러리, 순환 액비)의 해당 TAN값(1000 mg NH₄-N L⁻¹)에 해당하는 악취유발물질 발생량(mg NH₃-N m⁻² h⁻¹)을 비율에 맞추어 모델링한 후 해당 값들의 합계를 예상 악취유발물질 발생량이라 가정하였다.



<그림 54. 슬러리·순환 액비의 예상·실제 악취유발물질 방출량(농장)>

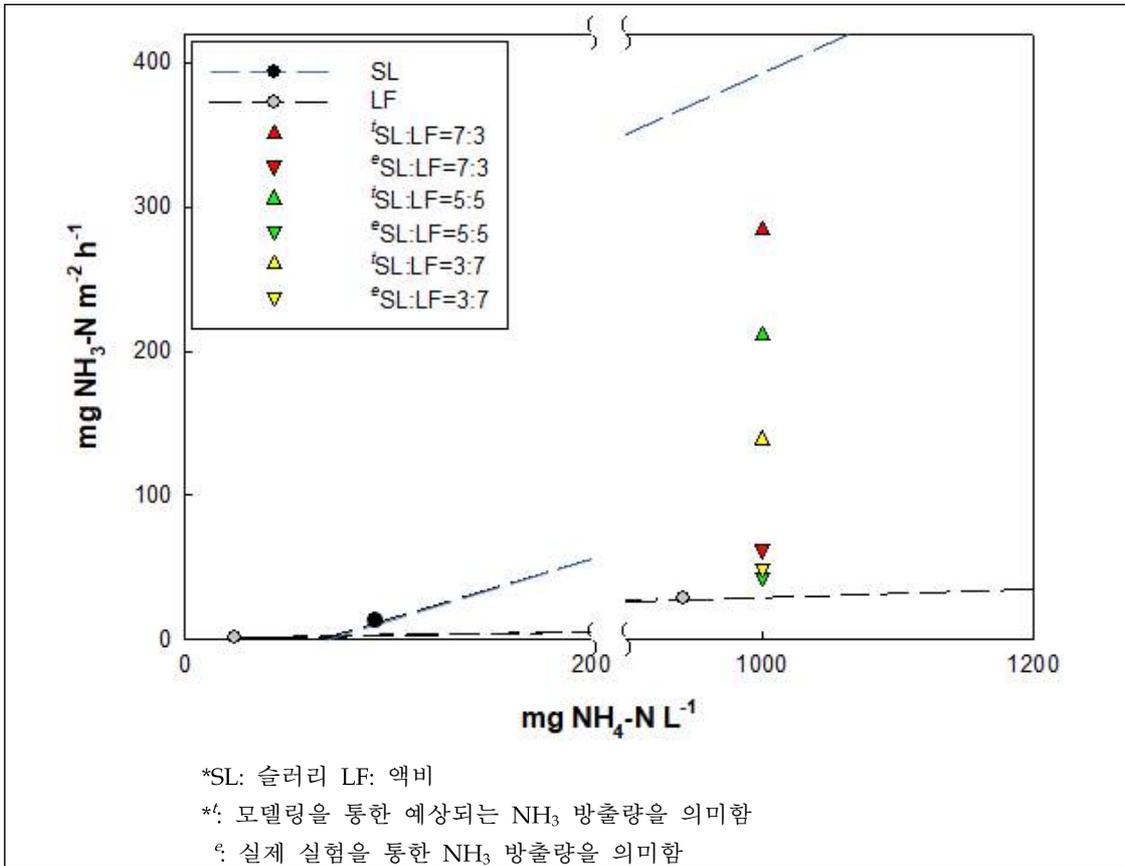
- 농장의 경우 실제 슬러리·순환 액비 혼합용액(7:3 비율)의 악취유발물질 방출량은

52.7 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹로, 예상 악취유발물질 방출량(128.5 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹)보다 약 75.8 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 22%였지만, 실제 결과값은 약 78% 감소한 것을 확인할 수 있음.



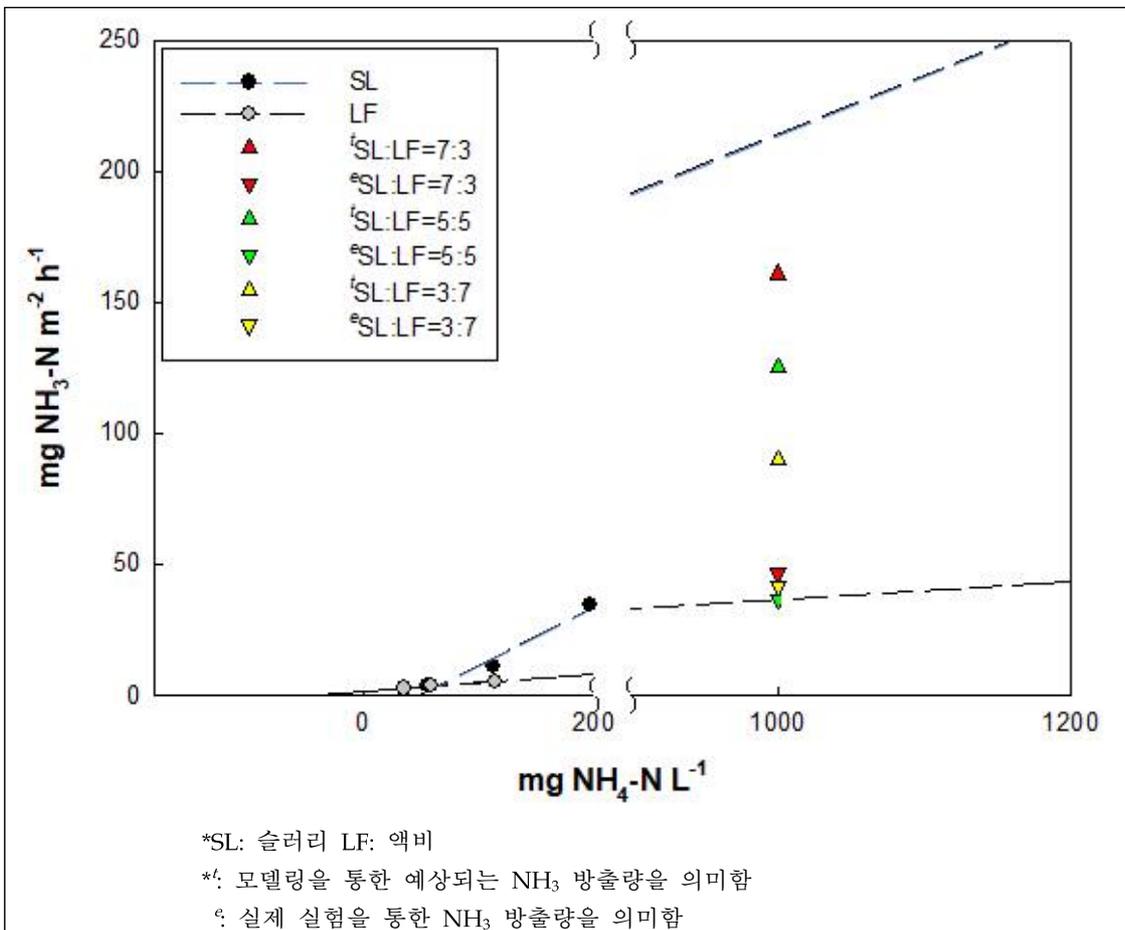
<그림 55. 슬러리·순환 액비의 예상·실제 악취유발물질 방출량(근농장)>

- 근농장의 경우 실제 슬러리·순환 액비 혼합용액(7:3 비율)의 악취유발물질 방출량은 123.3 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹로, 예상 악취유발물질 방출량(124.3 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹)보다 약 1 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 21%였지만, 실제 결과값은 약 22% 감소한 것을 확인함.
- 5:5 비율의 슬러리·순환 액비 혼합용액의 경우 악취유발물질 방출량은 87.1 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹로, 예상 악취유발물질 방출량(102.5 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹)보다 약 15.4 mg NH₃-N m⁻² h⁻¹ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 35%였지만, 실제 결과값은 약 45% 감소한 것을 확인할 수 있음.



<그림 56. 슬러리·순환 액비의 예상·실제 악취유발물질 방출량(○농장)>

- ○농장의 경우 실제 슬러리·순환 액비 혼합용액(7:3 비율)의 악취유발물질 방출량은 $62.3 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 로, 예상 악취유발물질 방출량($283.9 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)보다 약 $221.6 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 25%였지만, 실제 결과값은 약 84% 감소한 것을 확인함.
- 5:5 비율의 슬러리·순환 액비 혼합용액의 경우 악취유발물질 방출량은 $43.2 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 로, 예상 악취유발물질 방출량($211.2 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)보다 약 $168 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 56%였지만, 실제 결과값은 약 89% 감소한 것을 확인함.
- 3:7 비율의 슬러리·순환 액비 혼합용액의 경우 악취유발물질 방출량은 $49.8 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 로, 예상 악취유발물질 방출량($138.5 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)보다 약 $88.7 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 75%였지만, 실제 결과값은 약 87% 감소한 것을 확인함.



<그림 57. 슬러리·순환 액비의 예상·실제 악취유발물질 방출량(크농장)>

- 크농장의 경우 실제 슬러리·순환 액비 혼합용액(7:3 비율)의 악취유발물질 방출량은 $46.5 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 로, 예상 악취유발물질 방출량($160.8 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)보다 약 $114.3 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 25%였지만, 실제 결과값으로는 약 80% 감소한 것을 확인함.
- 5:5 비율의 슬러리·순환 액비 혼합용액의 경우 악취유발물질 방출량은 $36.6 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 로, 예상 악취유발물질 방출량($125.2 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)보다 약 $88.6 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 40%였지만, 실제 결과값은 약 83% 감소한 것을 확인함.
- 3:7 비율의 슬러리·순환 액비 혼합용액의 경우 악취유발물질 방출량은 $42.5 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 로, 예상 악취유발물질 방출량($89.6 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$)보다 약 $47.1 \text{ mg NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 낮음. 예상된 악취유발물질 발생량 감소율은 약 58%였지만, 실제 결과값은 약 81% 감소한 것을 확인함.
- 크농장을 제외한 모든 농장에서 모델링을 통한 NH_3 배출량보다 크게 감소한 관찰결과를 보임. 크농장 또한, 상대적으로 적지만 실제 NH_3 배출량이 예상된 NH_3 배출량보다 적은 결과를 보여줌.

- 모델링 과정은 슬러리와 액비의 혼합과정 중 희석의 효과만을 고려하였기에, 액비순환 시스템의 NH₃ 배출량 감소는 희석효과를 포함한 여타 요인들도 작용한다는 것을 의미함.
- 각 농가의 슬러리 및 액비에는 NH₃ 휘발을 감소시키는 미생물이 포함되어 있으며, 대체로 슬러리 보다 액비 내에 NH₃ 산화 및 악취 감소에 효과적인 미생물 군집이 더 많은 것을 볼 수 있음.
- 그럼으로, 슬러리와 액비의 혼합을 통한 악취저감은 물론, 미생물 등의 영향으로 인한 악취저감 또한 효과적인 것으로 판단됨. 추가적으로, 액비 혼합비율이 일정비율 이상일 시 통계적으로 유의미한 결과를 보여주지 못한 점을 토대로, 일정 비율 이상의 액비 혼합은 비효율적이며, 공정별 그 비율의 차이가 존재함을 확인함.

(3) 액비순환시스템 적용 농장 돈사의 피트 슬러리 넓이 조사

- 농장주와의 구두조사와 제1협동연구기관 축산관리원의 조사자료에 따르면 ㄴ농장의 액비순환시스템 적용 슬러리 피트의 설계 상 용량은 2,800 m³ 이며, 깊이는 0.6 m이다. 이를 토대로 계산할 시 슬러리 피트의 대기/물 표면의 넓이는 2,333 m²임. ㄷ농장의 경우 슬러리 피트의 설계상 용량은 2,000 m³ 이며, 깊이는 0.6 m이다. 이를 토대로 계산할 시 슬러리 피트의 대기/물 표면의 넓이는 3,333 m² 임. ㄹ농장과 ㄹ농장의 경우 자료 부족으로 인하여 돈사의 평균 넓이를 슬러리 피트의 넓이라 가정함(각각 13,884.3 m², 1,760 m²).

(4) 액비순환시스템 적용 피트 슬러리 NH₃ 배출량 산정

<표 15. 농장별 연간 평균 악취유발물질 발생량>

농장	슬러리 (kg NH ₃ -N ha ⁻¹ yr ⁻¹)	액비 (kg NH ₃ -N ha ⁻¹ yr ⁻¹)
ㄴ농장	18,610.5	1,256.7
ㄹ농장	27,146.5	2,007.8
ㅇ농장	2,242.2	595.3
ㅈ농장	2,817.4	965.5

※농장별 연간 평균 악취유발물질 발생량(NH₃)은 계절별 원수조 슬러리와 순환액비 시료를 기준으로 시간 당 악취유발물질 발생량을 모델링하여 계산하였다.

- 표 15는 그림 46-49 상의 슬러리와 액비의 NH₃ 배출량과 표 11-14 상의 TAN 농도를 바탕으로 농장별 연간 평균 NH₃ 발생량을 계산한 것임. 이를 각 농장별 슬러리 피트의 대기/물 표면 넓이에 대입하면 다음과 같은 배출량을 산정할 수 있음 ((3)액비순환시스템 적용 농장 돈사의 피트 슬러지 넓이 조사 참조).

<표 16. 농장별 연간 액비순환시스템 미적용 피트 슬러리 및 액비순환시스템 적용 피트 슬러리 유래 악취유발물질 발생량>

농장	액비순환미적용	30% 액비 순환	50% 액비 순환	70% 액비 순환
	kg NH ₃ -N yr ⁻¹			
ㄴ농장	4,282.4	1,370.4	1,027.8	985.0
ㄹ농장	37,174.7	19,702.6	-	-
ㅇ농장	519.0	83.0	57.1	62.3
ㅈ농장	926.2	277.9	213.0	185.2

30% 액비 순환의 경우 피트 슬러리 70%, 순환액비 30% 용액을 의미하며, 50% 액비 순환은 피트 슬러리 50%, 순환액비 50% 용액을 의미, 70% 액비 순환은 피트 슬러리 30%, 순환액비 30% 용액을 의미한다.

- ㄴ농장의 경우 연간 피트 슬러리에서 유래하는 NH₃-N 발생량은 4,282.4 kg이며, ㄹ농장의 경우 37,174.7 kg, ㅇ농장의 경우 519.0 kg, ㅈ농장의 경우 926.2 kg 으로 예상됨. ㄴ농장의 경우 30% 액비 순환을 하였을 시 연간 2,912 kg의 NH₃-N이 감소하고, 50% 액비 순환을 하였을 시 연간 2,912.0 kg의 NH₃-N이 감소하며, 70% 액비 순환을 하였을 시 연간 3,297.4 kg의 NH₃-N이 감소하는 것으로 계산됨. ㄹ농장의 경우 30% 액비 순환을 하였을 시 연간 15,472.1 kg 의 NH₃-N이 감소하는 것으로 계산됨. 낙원농장의 경우 30% 액비 순환을 하였을 시 연간 436 kg의 NH₃-N이 감소하며, 50% 액비 순환을 하였을 시 연간 461.9 kg 의 NH₃-N이 감소하고, 70% 액비 순환을 하였을 시 연간 456.7 kg의 NH₃-N이 감소하는 것으로 계산됨. ㅈ농장의 경우 30% 액비 순환을 하였을 시 연간 648.3 kg 의 NH₃-N이 감소하고, 50% 액비 순환을 하였을 시 연간 713.2 kg 의 NH₃-N이 감소하며, 70% 액비 순환을 하였을 시 연간 741 kg의 NH₃-N이 감소하는 것으로 계산됨.

가. 국내·외 악취저감 및 환경개선을 통한 생산성 향상 사례 조사

- Lillie(1972), Curtis(1983)에 의하면 돈사 내 암모니아는 돼지 눈을 충혈 시킬 만큼 자극적이며, 특히 호흡기 질병발생과 큰 연관성을 갖음, 또한 만성적으로 노출될 경우 돼지에게 커다란 스트레스 요인으로 작용하며 자돈의 경우 성장에 방해 요인으로 작용함.
- 미국 일리노이 대학의 Drumond(1980)의 암모니아 농도가 자돈의 생산성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 실험 수행 결과 돈사 내 암모니아 농도를 50ppm까지 증가시켰을 때, 자돈의 성장률이 12%가 감소했으며, 100~150ppm 수준까지 증가됐을 때는 성장률이 무려 30%까지 감소해, 암모니아 저감을 통해 양돈생산성을 증가 시킬 수 있을 것으로 판단함.
- Alexopoulos(2002)또한 돈사 내 암모니아 농도 별 폐사율 시험을 진행한 결과 돈사 내 암모니아 농도가 15ppm 이상일 때, 10ppm 이하 수준보다 폐사율이 무려 70%까지 증가하였다고 보고함.
- 김 등(2001)은 미생물제제이용 발효사료 급여에 따른 육성·비육돈의 생산성과 분뇨 내 악취감소에 관한 연구에서 미생물제제 이용 발효사료를 0.5~1.0% 첨가할 경우 축사 내 유해가스(암모니아, 황화수소)가 유의하게 감소되었으며, 이에 사육환경 또한 개선되어 가축의 생산성이 향상될 것이라 보고함.
- 충북지역 선진한마을의 900두 사육규모의 비육 전문농장에서 농장 관리 효율과 생산성 증대를 위해 환경 개선 사업을 진행하였음, 과거 평사 돈사에서 슬러리 돈사로 개방형 돈사에서 무창 돈사로 돈사형태를 변경하며 환기 시스템을 보완한 결과 육성율이 91.5%에서 97.3%로 증가함.



<개선 전(개방형돈사)>



<개선 후(무창돈사)>

나. 악취발생과 양돈 생산성과의 상관성 조사

(1) 조사 개요 및 내용

- 농장 돈사 시설관리, 돼지 사양관리, 돈사 내 청결관리 및 분뇨관리 등 돈사 내 환경관리 여부 및 수준이 생산성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 양돈농가 환경관리 수준과 생산성적을 조사하여 분석함.

(2) 조사 방법

- 대한한돈협회 한돈팜스 자료를 이용하여 농가의 MSY생산성적을 확보함.
- 농가 생산성적은 한돈팜스자료 활용 동의서를 통해 MSY성적별 (24두 이상, 21~24두 미만, 18~21두 미만, 18두 미만) 각 10농가 씩 구분하고, 아래 농가 악취조사표를 이용해 농가 방문 및 유선 설문조사를 실시함.
- 사양관리, 돈사시설, 돈사 청결도, 돈사피트 관리 설문항목에 대해 MSY 상 하위 농가의 분포도를 나타내고 설문항목과 MSY성적 간 상관성을 분석함.

<농가 악취조사표>

농장명		
농장주 성명		
연락처	(농장전화)	(휴대전화)
농장소재지		
시·도		시·군·구
돈사내부 악취 측정 값 (ppm)		
암모니아 (NH ₃)		
황화수소 (H ₂ S)		
I. 사양관리		
1. 사양단계별 사료급여		
<input type="checkbox"/> 젖돈→육성비육 <input type="checkbox"/> 젖돈→육성비육→비육 <input type="checkbox"/> 젖돈→육성비육→비육전기→비육후기 <input type="checkbox"/> 액상급여		
1-1. 비육돈 사료 내 단백질 함량		
[%] <input type="checkbox"/> 20%이하 <input type="checkbox"/> 20% <input type="checkbox"/> 20%이상		
2. 사료 내 생균제, 미생물제제 추가 첨가		
<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오		
3. 적정 사육밀도 유지 (비육돈방 기준)		
<input type="checkbox"/> 밀집사육 <input type="checkbox"/> 적정사육 <input type="checkbox"/> 저밀도사육		
3-1 돈방당 사육두수 [마리]		
3-2 돈방면적 [가로_____ X 세로_____ = _____m ²]		

II. 돈사시설	
1. 돈사피트 구조	<input type="checkbox"/> 슬러리피트 <input type="checkbox"/> 액비순환 <input type="checkbox"/> 스크래퍼 <input type="checkbox"/> 평사
2. 돈사환기 방식	<input type="checkbox"/> 무창 <input type="checkbox"/> 개방 <input type="checkbox"/> 무창+개방
3. 안개분무 시설 운영 여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
4. 안개분무 약품 종류	<input type="checkbox"/> 미생물제제 <input type="checkbox"/> 탈취제 <input type="checkbox"/> 천연물질
5. 안개분무 가동 횟수	<input type="checkbox"/> 1일 2회 <input type="checkbox"/> 1일 4회 <input type="checkbox"/> 1일 6회 <input type="checkbox"/> 1일 8회 <input type="checkbox"/> 기타 ()
6. 돈사내부 악취저감을 위한 시설 설치 (안개분무 제외)	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오 / 설치하였다면 어떤 시설을 설치하였는가? _____

III. 축사 내부 관리	
	<input type="checkbox"/> 슬러리 피트
1. All in, All out 실시 여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
2. (All in, All out 할 때) 슬러리 바닥 비우고 청소	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
3. (All in, All out 할 때) 고압세척 및 소독 실시	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
4. 슬러리 저장기간	<input type="checkbox"/> 2주 <input type="checkbox"/> 3주 <input type="checkbox"/> 4주 <input type="checkbox"/> 5주 <input type="checkbox"/> 6주
5. 돈사 슬러리피트 관리상태	<input type="checkbox"/> 피트여유 공간 30cm이상 <input type="checkbox"/> 10~30cm <input type="checkbox"/> 10cm미만 <input type="checkbox"/> 여유 공간 없음
6. 슬러리피트 침전물 제거	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
7. 돈사 슬러리피트 미생물 살포	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오

(3) 조사 및 분석 결과

(가) MSY 상 하위 농가 돈사 악취관리 분포도

① 사양단계별 사료급여체계에 따른 생산성

- 사양단계에 따라 요구되는 단백질 함량이 다양하지만 양돈농가에서는 돼지의 성장을 최대화하기 위해 육성돈 사료를 비육돈에 급여하는 것과 같이 필요 단백질 요구량 보다 높게 급여하고 있음.
- 이에 따라 소화되지 못한 단백질이 체외로 많이 배출되고 악취발생을 증가시켜 돈사 내 악취 증가로 양돈 생산성에도 영향을 미치게 됨.
- 권장수준의 단백질 함량은 비육전기(50~80kg) 16%, 비육후기(80~120kg) 14% 인 반면 관행수준의 단백질 함량은 비육전기(50~80kg) 19%, 비육후기(80~120kg) 17%로 권장수준 보다 높게 나타남.
- MSY 21두 미만의 농가에서는 [젖돈→육성비육→비육] 3단계 사료급여와 [젖돈→육성비육] 2단계 사료급여가 대부분인 것으로 나타났음.
- 반면 MSY 21두 이상의 우수농가에서는 [젖돈→육성비육→비육전기→비육후기] 4단계로 급여하는 농가가 있을 뿐만 아니라 액상급이를 통해 사양단계에 요구되는 단백질을 급여하고 있음.

<사양단계별 사료급여체계에 따른 생산성>

② 적정사육밀도 유지에 따른 생산성

- 돈사 사육밀도는 생산성에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 돈사 내부 악취에도 큰 영향을 미치는데, 이는 사육밀도가 높아질수록 돈분뇨 발생량이 증가하며 축제에서 발생하는 냄새에 의한 것으로 판단됨.
- '15년 국립축산과학원의 사육밀도 조절에 의한 돈사 내 냄새물질 농도변화 시험 결과 농식품부 고시 사육밀도 0.79m²/두 보다 넓은 1.0m²/두 이상으로 사육공간 제공 시 트리메틸아민, 이성체지방산, 황화합물류, 인돌류에서 악취 저감 효과를 보임.
- MSY 21두 미만의 농가에서는 적정사육밀도로 사육하고 있는 농가들도 있었으나 절반의 농가에서는 비육돈 기준 사육밀도인 0.8m² 이상으로 밀집사육을 하고 있는 것으로 나타남.
- 반면 MSY 21두 이상의 우수농가에서는 대부분 적정사육면적을 유지하거나 사육밀도가 더 낮은 저밀도 사육을 하고 있음.

<적정사육밀도 유지에 따른 생산성>

③ 돈사환기 방식에 따른 생산성

- 돈사환기의 역할은 산소의 공급, 유해가스의 배출, 돈사 내 온도의 조절, 발산되는 수분의 배출 등 돼지사육에 있어 중요한 역할을 함.
- 환기량을 적절하게 조절하지 못해 돈사 내 환경조건이 악화되면 출하일령이 지연되고, 사료요구율이 떨어지며 악취가스와 먼지로 인해 호흡기 질병의 다발 등으로 생산성이 저하되어 경영상 큰 손실을 가져오게 됨.
- MSY 21두 미만의 농가에서의 환기 방법 조사 결과 무창돈사보다 개방형의 돈사 형태가 주를 이루고 있는 것으로 나타남.
- 반면 MSY 21두 이상의 농가에서는 무창돈사가 주를 이루고 있음.
- 이는 개방형 돈사에서는 돈사 내부의 온·습도와 유해 악취가스를 제어하기 힘든 반면 무창돈사에서는 계절별 환기량 조절을 통해 이를 보다 적절하게 조절이 가능하기 때문이라고 판단됨.

<돈사환기 방식에 따른 생산성>

④ 안개분무시설 운영에 따른 생산성

- 양돈농가에서 돈사 내부 악취저감 방법으로 안개분무시설을 많이 이용 중에 있으며 각 농가별 안개분무용 사용 약품은 천연물질, 탈취제, 미생물제재 등 다양한 제품을 이용 중임.
- 안개분무는 악취저감 뿐만 아니라 부유 먼지 제거에도 탁월한 효과가 있어 먼지로 인한 악취물질의 이동과 돼지 호흡기 질병을 예방 할 수 있음.
- MSY 21두 미만의 농가에서의 안개분무시설 운영 여부 조사 결과 개방형 돈사 구조의 5개 농가에서 안개분무를 사용 중인 것으로 나타났고,
- MSY 21두 이상 우수농가에서는 무창돈사 구조에서 안개분무를 사용하고 있음.

<안개분무시설 운영에 따른 생산성>

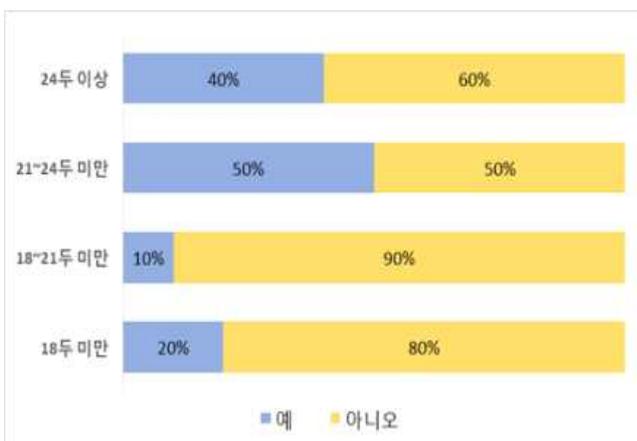


⑤ 올인 올라웃 실시 여부에 따른 생산성

- 올인 올라웃의 실시는 돈사 내 소독, 세척, 건조과정을 통해 위생적 사육을 할 수 있을 뿐만 아니라 돈사 내 청결유지를 통해 악취를 저감시키는 중요한 방법임.
- 돈사 내 청결유지는 악취를 저감시키기 위한 가장 기본적인 방법으로 올인 올라웃을 실시하지 않는 농가에서는 소독, 세척, 건조하기 힘들게 되며 이로 인해 돈사 내 악취, 먼지 등이 증가하며 양돈 생산성에 영향을 미치게 됨.
- MSY 21두 미만의 농가에서 올인 올라웃 실시 비율이 21두 이상의 우수농가에 비해 낮게 나타나 생산성이 높은 농가에서 돈사 청결유지에 더욱 노력하고 있는 것을 알 수 있었음.
- 또한, 올인 올라웃 후 수세 여부에 관해서는 MSY 21두 이상의 우수농가에서 MSY 21두 미만 농가에 비해 올인 올라웃 후 수세를 시행하는 비율이 높게 나타났음.
- 특히 MSY 18두 미만의 농가에서는 올인 올라웃을 실시는 하지만 수세를 실시하지 않고 있으며 18~21두 농가에서는 1개 농가에서만 올인올라웃과 수세를 동반 시행하여 낮은 올인올라웃 및 수세의 비율을 보임.
- 반면 21두 이상의 우수농가에서는 대부분 올인 올라웃과 수세를 동시에 실시하고 있는 것으로 나타남 .

<올인올라웃 여부에 따른 생산성>

<올인올라웃 및 수세 여부에 따른 생산성>



⑥ 슬러리 저장기간과 슬러리피트 여유 공간 확보에 따른 생산성

- 돈사 슬러리 피트 내 분뇨의 저장기간이 길어져 슬러피 피트 여유공간이 적어지면 암모니아 가스뿐만 아니라 혐기조건에 의한 황화수소의 발생이 증가하고 돼지들이 호흡기 질병에 노출되어 생산성 또한 낮아짐.
- '18 국립축산과학원 보도자료에 의하면 슬러리 피트 내 돈분뇨 저장기간을 6주에서 2주로 줄인 결과, 악취물질인 인돌류 농도가 45% 감소한 것으로 보고하여 분뇨 저장기간을 15일 이내로 최소화 해야한다고 보도함.
- 농가 실태조사에 의하면 MSY 21두 미만의 농가에서는 3주와 4주 주기로 슬러리 피트를 비운다고 나타났거,
- MSY 21두 이상의 우수농가에서는 슬러리 저장기간 3주, 4주의 비율이 감소하였고 2주 미만으로 유지한다는 비율이 증가하였음.
- MSY 21두 미만의 농가에서는 피트 여유공간 [10~30cm] 응답이 가장 많았으며 30cm이상 충분한 여유공간을 확보한 농가의 비율이 적은 것으로 나타났고,
- 반면 21두 이상 우수농가에서는 30cm 이상 여유를 확보한 농가들이 대부분인 것으로 나타남.

<슬러리 저장기간에 따른 생산성>

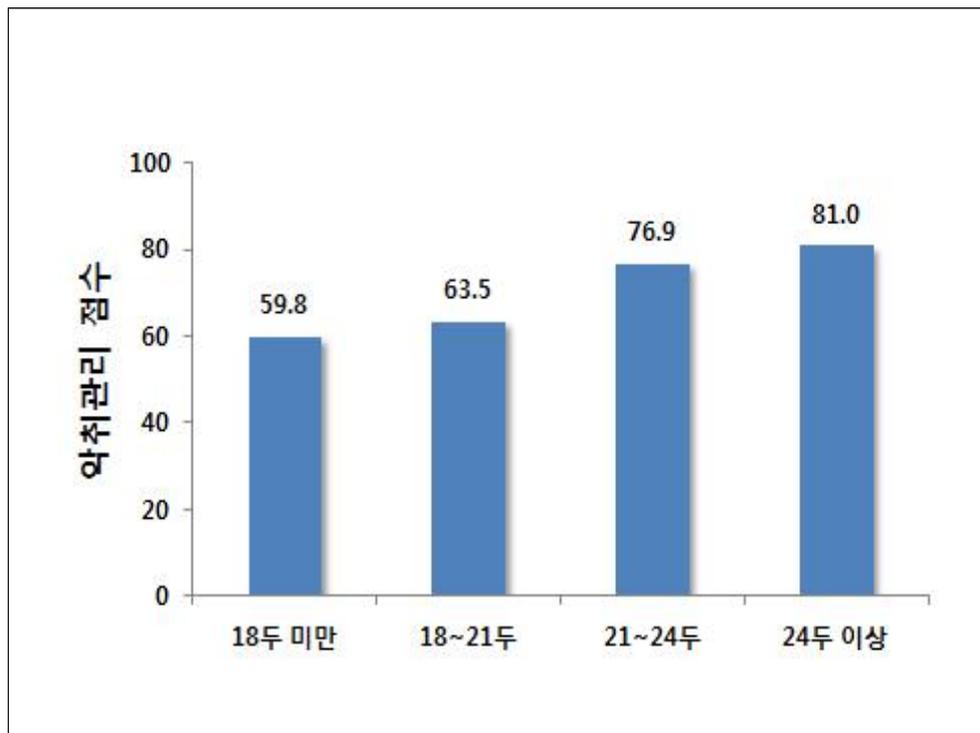
<피트 여유공간 확보에 따른 생산성>

(나) 농가 약취 조사표 배점화

- 약취 설문문항과 MSY의 상관성을 분석하기 위해 설문문항별 배점화가 우선되어야 하며 이를 위해서 문항 항목별 가중치를 부여해야 함
- 설문항목은 크게 사양관리, 돈사시설, 돈사 청결도, 돈사 피트관리 4항목으로 분류하였으며 항목별 분포도를 나타내 MSY성적 상 하위 농가의 특이점이 뚜렷한 문항을 분류하였음
- 사양관리 3문항, 돈사시설 2문항, 돈사 청결도 2문항, 돈사 피트관리 3문항으로 각 문항 10점씩 총점 100점으로 설정해 농장별 점수와 MSY 성적별 점수를 아래 <표>와 같이 나타냄
- 약취조사표 배점화를 통해 MSY성적별 평균 약취관리 점수를 나타냄, 생산성적이 높은 농가일수록 약취 관리 점수 또한 높게 나타남

<MSY 성적별 약취관리 점수>

구분	MSY 성적			
	18두 미만	18~21두	21~24두	24두 이상
약취관리 점수	59.8±6.0	63.5±5.4	77.3±8.7	81.0±9.5



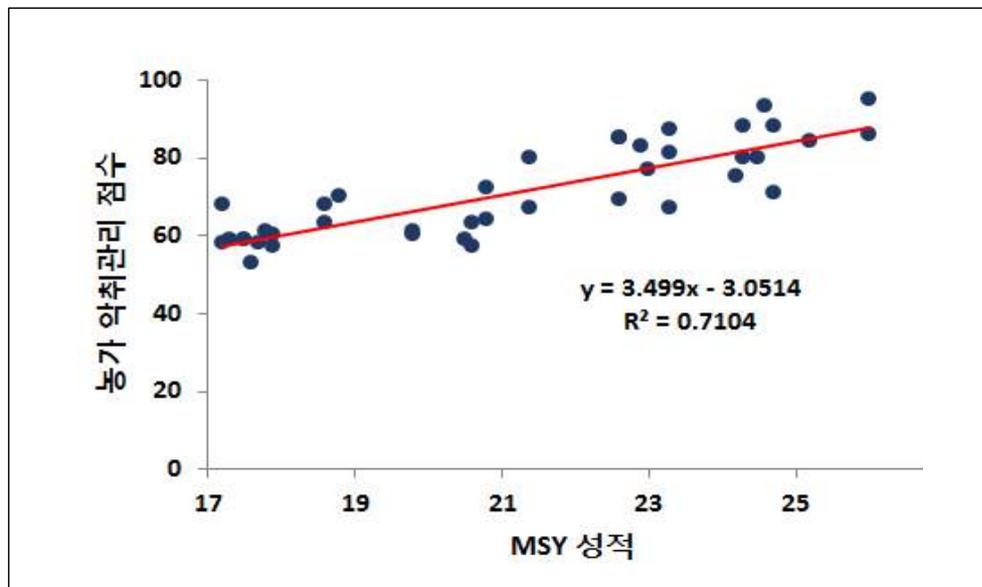
<MSY 성적별 약취관리 점수>

<농가 약취관리 조사 배점표>

구 분		설문 문항											총합	평균
		사양관리			돈사시설		돈사 청결도		돈사피트관리					
MSY	농장명	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j			
18두 미만	1-A	4	10	5	7	5	5	5	3	7	10	61	59.8 ± 6.0	
	1-B	0	10	2	10	5	5	5	3	3	10	53		
	1-C	4	10	5	3	5	5	5	5	7	10	59		
	1-D	0	10	5	7	5	5	5	5	7	10	59		
	1-E	4	10	2	7	5	5	5	3	7	10	58		
	1-F	4	10	2	3	10	5	5	3	5	10	57		
	1-G	4	10	5	3	10	5	5	3	3	10	58		
	1-H	4	10	2	7	5	5	5	3	7	10	58		
	1-I	4	10	5	3	5	5	5	5	7	10	59		
	1-J	4	10	5	10	5	10	10	5	7	10	76		
18~21두	2-A	4	10	5	7	5	5	5	3	10	10	64	63.5 ± 5.4	
	2-B	4	10	5	10	10	5	5	3	7	10	69		
	2-C	0	10	2	3	10	10	5	3	7	10	60		
	2-D	4	10	2	10	5	5	5	5	7	10	63		
	2-E	4	10	10	10	5	10	5	5	7	10	76		
	2-F	4	10	2	3	10	5	5	5	7	10	61		
	2-G	0	10	5	7	5	5	5	3	7	10	57		
	2-H	4	10	5	7	5	5	5	5	7	10	63		
	2-I	4	10	5	7	5	5	5	5	7	10	63		
	2-J	0	10	5	7	5	5	5	5	7	10	59		
21~24두	3-A	4	10	10	7	10	10	10	3	7	10	81	77.3 ± 8.7	
	3-B	10	10	10	10	5	10	10	5	7	10	87		
	3-C	4	10	5	10	5	5	10	3	7	10	69		
	3-D	8	10	2	10	10	5	10	10	10	10	85		
	3-E	8	10	10	10	5	5	5	3	3	10	69		
	3-F	10	10	5	10	5	10	5	5	10	10	80		
	3-G	4	10	5	10	5	5	5	3	10	10	67		
	3-H	8	10	2	10	5	10	10	10	10	10	85		
	3-I	8	10	5	10	10	10	5	5	10	10	83		
	3-J	4	10	5	10	5	5	5	3	10	10	67		
24두 이상	4-A	8	10	10	10	10	10	10	10	7	10	95	81.0 ± 9.5	
	4-B	4	10	5	10	5	10	5	5	7	10	71		
	4-C	4	10	5	10	10	5	5	5	7	10	71		
	4-D	4	10	5	10	5	10	5	5	5	10	69		
	4-E	4	10	10	7	10	5	10	3	7	10	76		
	4-F	4	10	10	10	5	5	10	10	10	10	84		
	4-G	8	10	10	10	10	5	10	10	10	10	93		
	4-H	8	10	5	10	10	10	10	5	10	10	88		
	4-I	8	10	10	10	5	5	10	10	10	10	88		
	4-J	10	10	10	7	5	5	10	3	5	10	75		

(다) 농가 약취관리 점수와 MSY성적의 유의성 검증

- 농가 약취관리 배점표의 신뢰성을 검증하고 농가별 약취관리점수와 MSY성적과의 상관성을 알아보기 위해 상관관계 분석을 진행하였음.
- 농가 약취관리 점수와 MSY성적을 분석한 결과(그림) $R^2=0.7104$ 의 상관관계를 관찰할 수 있었으며 통계 프로그램(SPSS)을 통해 상관관계를 분석(표)하여 0.728^{**} 의 유의성($P<0.01$)을 확인함.
- MSY 성적과 농가 약취관리점수와의 유의한 정(+)의 상관을 가짐에 따라 농가 약취관리 배점표의 신뢰성을 확인할 수 있었고, 농가에서 돈사 내 암모니아, 황화수소 등의 약취관리가 생산성 향상에 주요한 요인으로 나타남.



<MSY성적과 약취관리점수 상관성>

구 분		MSY 성적	농가 약취관리 점수
MSY 성적	Pearson 상관계수	1	0.728**
	유의확률(양쪽)		0.000
	N	40	40
농가 약취관리 점수	Pearson 상관계수	0.728**	1
	유의확률(양쪽)	0.000	
	N	40	40

* $P<0.05$ ** $P<0.01$

(라) 농가 약취관리 수준과 MSY 성적의 상관성 분석

- 약취관리와 MSY 성적과의 상관성을 분석한 결과 사양관리 중 사양단계별 사료급이와 적정 사육밀도 유지가 MSY 성적 향상과 유의(P<0.01)한 정(+)의 상관을 가짐에 따라 사양단계에 요구되는 단백질 함량을 급여해야하며 적정 사육면적을 통해 돈사 내 환경관리가 생산성 향상에 중요한 요인으로 나타남.
- 돈사시설 중 돈사환기 방식이 MSY 성적 향상과 유의(P<0.01)한 정(+)의 상관을 가졌으며 돈사 청결도 부분 슬러리 피트 비우고 청소가 MSY 성적 향상과 유의(P<0.01)한 정(+)의 상관을 가짐에 따라 적절한 환기와 돈사 청결유지가 생산성 향상에 주요한 요인으로 나타남.
- 돈사 피트 관리와 MSY 성적 향상과의 상관성은 유의(P<0.05)한 정(+)의 상관을 가짐에 따라 슬러리 피트 내 저장기간을 짧게 하여 돈사 내 약취발생을 감소시키는 것이 생산성 향상에 중요한 요인으로 나타남.

<약취관리와 MSY 성적 상관성>

구분		MSY
사양관리	사양단계별 사료 급이	0.526**
	적정 사육밀도 유지	0.484**
돈사시설	돈사환기 방식	0.462**
	안개분무 시설 운영여부	0.166
돈사 청결도	올인 올아웃 실시	0.236
	슬러리 피트 비우고 청소	0.593**
돈사 피트 관리	슬러리 저장기간	0.401*
	슬러리 피트 관리 상태	0.211

*P<0.05 **P<0.01

다. 약취발생과 양돈 생산성과의 상관성 조사(실증농가 대상)

(1) 약취관리와 생산성과의 상관성 조사

- 경산시, 연천군, 여주시, 의령군의 본 과제 액비순환실증농가로부터 약취관리 설문 조사를 통해 약취관리 점수를 배점하고 이를 대한한돈협회로부터 받은 MSY, 이유후 육성율의 생산성적과 비교함.
- 약취관리 점수와 MSY성적간 상관성을 분석한 결과 0.885*의 유의성(P<0.05)으로 유의한 정(+)의 상관성을 가짐에 따라 돈사 내 약취관리가 농장 생산성을 좌우하는 것을 확인함.
- 약취관리 점수와 이유후 육성율과의 상관성 분석한 결과 상관계수가 0.771로 유의성이 없는 것으로 나타남.

<약취관리 점수와 생산성적과의 상관성 분석>

농가	약취관리 점수	MSY	이유후 육성율	약취관리와 MSY 상관성	약취관리와 육성율 상관성
농가1	66	17.3	77.3	0.885*	0.771
농가2	72	19.1	89.9		
농가3	82	21.1	93.6		
농가4	71	17.5	73.9		
농가5	69	19.0	80.8		

<약취관리 점수와 생산성적과의 상관성 분석>

		약취관리 점수	MSY 성적	이유후 육성율
약취관리 점수	Pearson 상관계수	1	0.885*	0.771
	유의확률(양쪽)		0.46	0.127
	N	5	5	5
MSY 성적	Pearson 상관계수	0.885*	1	0.906*
	유의확률(양쪽)	0.046		0.034
	N	5	5	5
이유후 육성율	Pearson 상관계수	0.771	0.906*	1
	유의확률(양쪽)	0.127	0.034	
	N	5	5	5

*P<0.05 **P<0.01

(2) 돈사 내 악취농도와 생산성과의 상관성 조사

- 제2협동기관(전주대학교)로부터 액비순환시설 설치 예정농가 설치 전 돈사 악취 농도 데이터를 받아 한돈팜스 생산성적 자료와 비교 분석하였음.
- 돈사 내 악취농도(암모니아, 황화수소)와 생산성적(MSY, 이유후 육성율)의 상관성을 분석한 결과 암모니아와 MSY, 이유후 육성율의 상관계수는 각각 -0.377, -0.743으로 유의성이 없는 것으로 나타남.

<돈사 내 악취농도와 생산성적과의 상관성 분석>

농가	돈사 내 악취농도		MSY	이유후 육성율	악취농도와 MSY 상관성	악취농도와 육성율 상관성
	NH ₃	H ₂ S				
농가1	18.0	0.9	17.3	77.3	[NH ₃ :MSY] -0.377 [H ₂ S:MSY] -0.415	[NH ₃ :육성율] -0.743 [H ₂ S:육성율] -0.658
농가2	16.5	0.45	19.1	89.9		
농가3	15.0	1.1	21.1	93.6		
농가4	27.4	4.2	17.5	73.9		
농가5	31.5	1.85	19.0	80.8		

<돈사 내 악취농도와 생산성적과의 상관성 분석>

		악취농도(NH ₃)	악취농도(H ₂ S)	MSY 성적	이유후 육성율
악취농도 (NH ₃)	Pearson 상관계수	1	0.671	-0.377	-0.743
	유의확률(양쪽)		0.215	0.532	0.150
	N	5	5	5	5
악취농도 (H ₂ S)	Pearson 상관계수	0.671	1	-0.415	-0.658
	유의확률(양쪽)	0.215		0.487	0.227
	N	5	5	5	5
MSY 성적	Pearson 상관계수	-0.377	-0.415	1	0.906*
	유의확률(양쪽)	0.532	0.487		0.034
	N	5	5	5	5
이유후 육성율	Pearson 상관계수	-0.743	-0.658	0.906*	1
	유의확률(양쪽)	0.150	0.227	0.034	
	N	5	5	5	5

*P<0.05 **P<0.01

(3) 악취관리와 돈사 내 악취농도의 상관성 조사

- 악취설문조사표를 이용한 악취관리 점수와 돈사 내 악취농도(암모니아, 황화수소)의 상관성 조사를 실시한 결과, 악취관리 점수와 암모니아, 황화수소의 상관계수는 각각 -0.452, -0.116으로 유의성이 없는 것으로 나타남.

<악취관리점수와 돈사 내 악취농도의 상관성 분석>

농가	악취관리 점수	돈사 내 악취농도		악취관리와 악취농도 상관성
		NH ₃	H ₂ S	
농가1	66	18.0	0.9	[관리점수:악취농도] -0.452 [관리점수:악취농도] -0.116
농가2	72	16.5	0.45	
농가3	82	15.0	1.1	
농가4	71	27.4	4.2	
농가5	69	31.5	1.85	

<악취관리점수와 돈사 내 악취농도의 상관성 분석>

		악취관리 점수	악취농도(NH ₃)	악취농도(H ₂ S)
악취관리 점수	Pearson 상관계수	1	-0.452	-0.116
	유의확률(양쪽)		0.445	0.853
	N	5	5	5
악취농도 (NH ₃)	Pearson 상관계수	-0.452	1	0.671
	유의확률(양쪽)	0.445		0.215
	N	5	5	5
악취농도 (H ₂ S)	Pearson 상관계수	-0.116	0.671	1
	유의확률(양쪽)	0.853	0.215	
	N	5	5	5

라. 분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과

- 분뇨처리 방식(액비순환시스템)에 따른 생산성 개선효과를 평가하기 위해 돈사 내 액비순환시스템을 적용하여 가동 중이며, 축산악취ICT기계장비가 설치된 농가 9개소를 선정하였음.
- 선정된 농가들에 대한 분석을 실시하기 위해 제1협동과제 수행기관(축산환경관리원)으로부터 축산농가광역악취개선사업(액비순환 가동현황)자료, 축산악취ICT모니터링결과(악취발생농도)자료, 그리고 대한한돈협회로부터 농가별 한돈팜스 성적자료를 수집하였음.
- 이와 같이 수집된 자료들을 바탕으로 분뇨처리 방식, 즉 관행 슬러리 돈사와 액비순환시스템의 생산성을 비교하여 액비순환시스템을 적용하였을 경우 생산성 개선효과를 분석하였음.

<분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선효과 분석 대상 농가 현황>

농가	사육형태 및 규모	돈사형태	액비순환
A농장	비육농장(비육 10,000두)	슬러리피트	가동 중
B농장	일관사육(모돈 230두)	슬러리피트	가동 중
C농장	일관사육(모돈 115두)	슬러리피트	가동 중
D농장	일관사육(모돈 400두)	슬러리피트	가동 중
E농장	일관사육(모돈 110두)	슬러리피트	가동 중
F농장	일관사육(모돈 300두)	슬러리피트	가동 중
G농장	일관사육(모돈 220두)	슬러리피트	가동 중
H농장	일관사육(모돈 155두)	슬러리피트	가동 중
I농장	일관사육(모돈 148두)	슬러리피트	가동 중

마. 양돈분뇨처리 방법(액비순환시스템)적용 시 생산성 개선효과 분석

○ 액비순환시스템 적용 시 생산성 개선효과를 분석하기 위해 액비순환 농장 돈사 내·외부 악취농도 및 액비순환방식 적용 시 분뇨성상 변화를 분석하였고, 액비순환방식 적용 시 생산성 변화를 분석하였음.

※ 악취발생농도 변화 자료는 축산환경관리원 축산악취 ICT기계장비가 설치된 9개소 농가의 자료임. 대상 농가들이 액비순환시스템 도입이후 악취측정 기계장비가 설치되었으며, 따라서 액비순환시스템 도입이전의 데이터를 확보할 수 없었음.

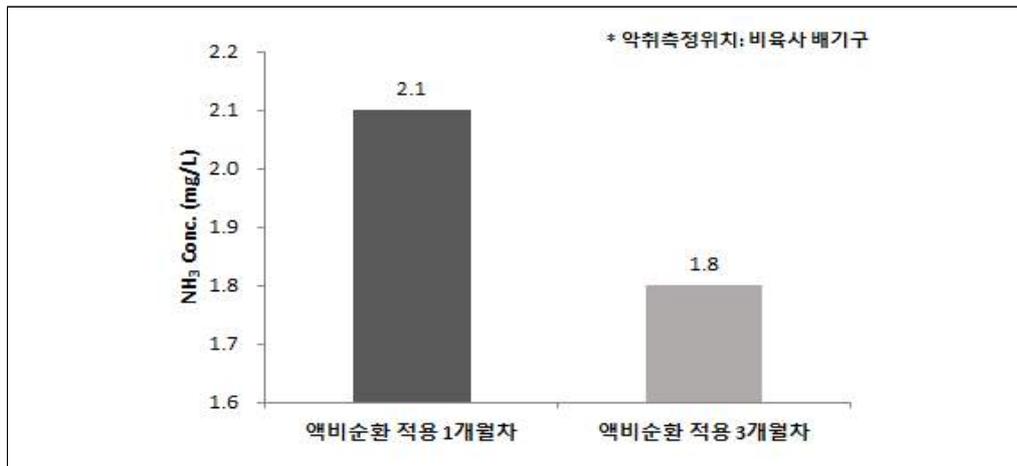
따라서 액비순환시스템 가동초기 안정화되지 않은 상태의 돈사환경이 기존 슬러리 돈사의 환경과 유사하다는 판단 하에, 이때 측정된 악취발생농도를 액비순환시스템 도입이전의 악취발생농도로 대체하여 악취발생농도 변화를 분석하였음.

(1) 액비순환시스템 적용 시 돈사 내·외부 악취(NH₃)발생농도 변화 분석

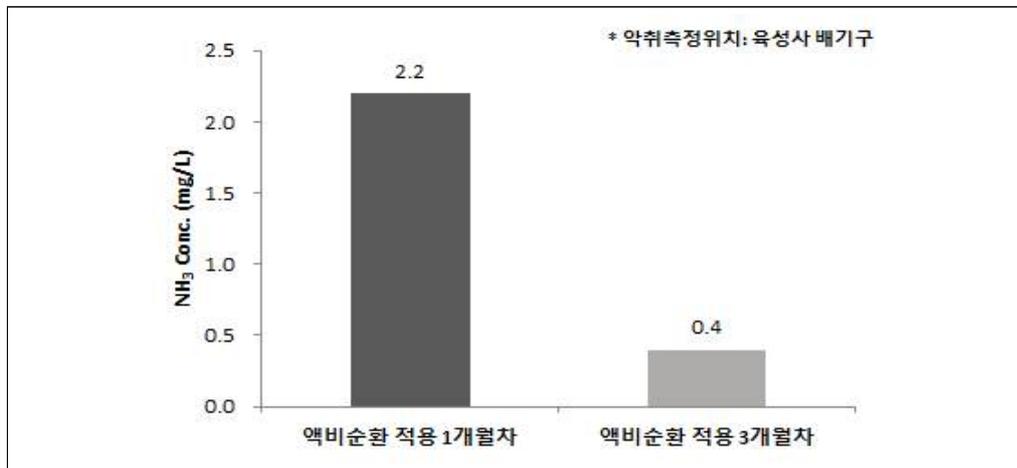
(가) B 농장

- 경남 고성에 위치한 B농장의 경우 액비순환 적용 후 비육사 배기구 악취발생농도가 2.1ppm에서 1.8ppm으로 낮아졌고, 육성사 배기구 악취발생농도의 경우에도 2.2ppm에서 0.4ppm으로 점차 낮아짐.

<액비순환시스템 적용 후 돈사(비육사 배기구) 악취(NH₃)발생농도 변화>



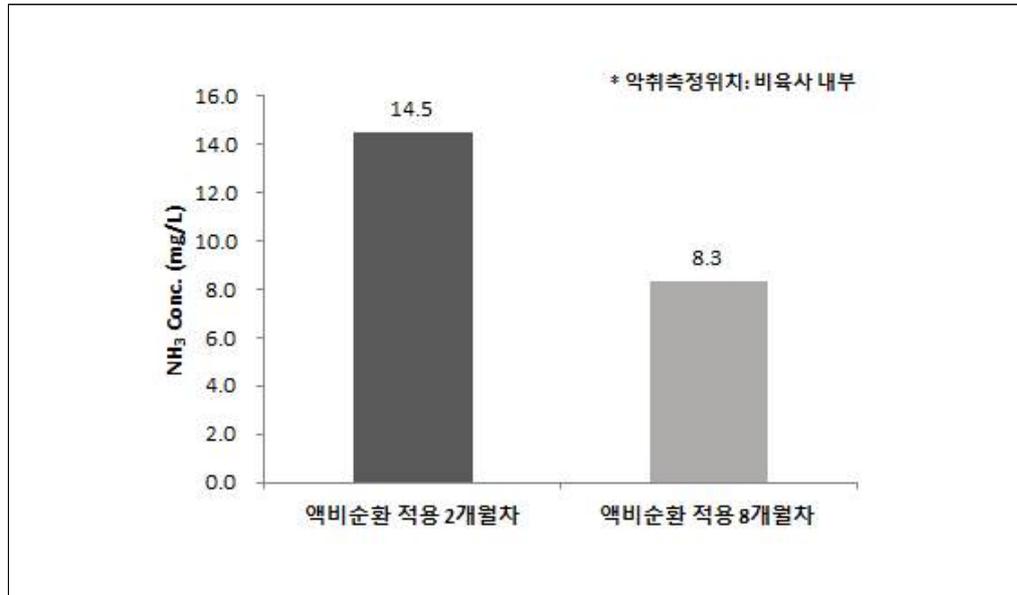
<액비순환시스템 적용 후 돈사(육성사 배기구) 악취(NH₃)발생농도 변화>



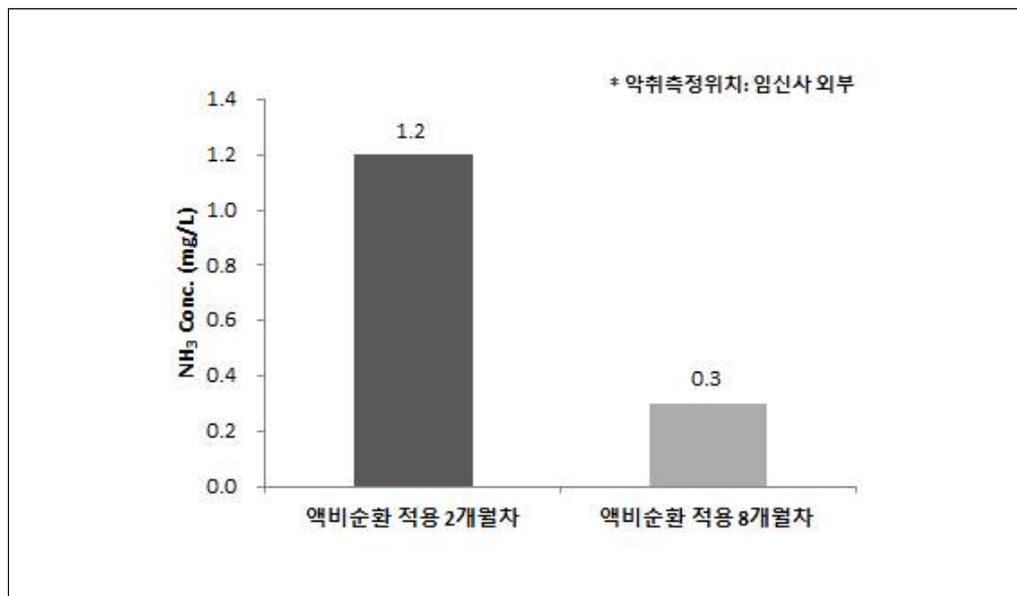
(나) E 농장

- 경남 고성에 위치한 E농장의 경우 액비순환 적용 후 비육사 내부 악취발생농도가 14.5ppm에서 8.3ppm으로 낮아졌고, 임신사 외부 악취발생농도의 경우에도 1.2ppm에서 0.3ppm으로 점차 낮아짐.

<액비순환시스템 적용 후 돈사(비육사 내부) 악취(NH₃)발생농도 변화>



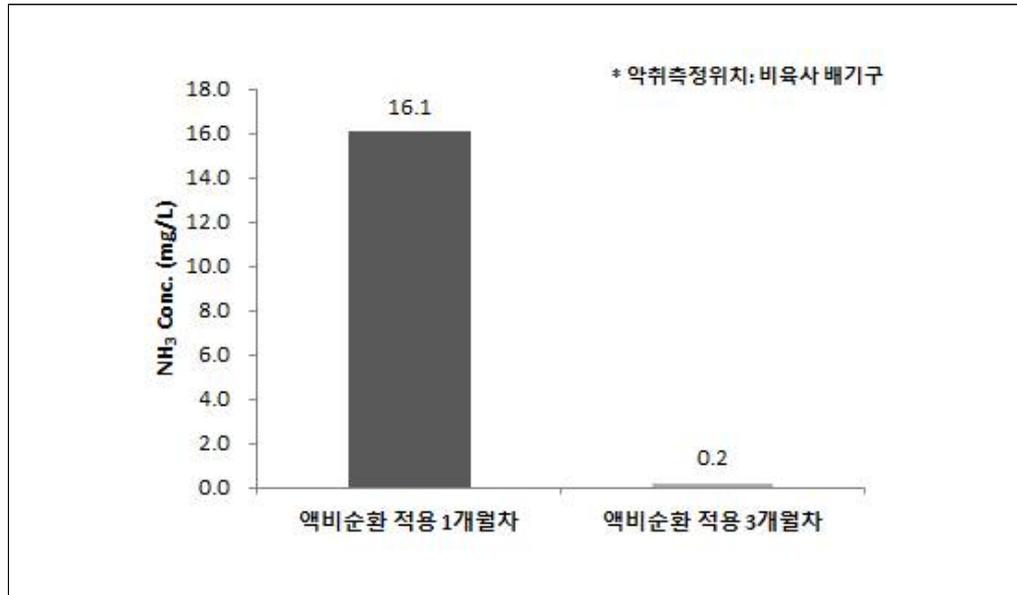
<액비순환시스템 적용 후 돈사(임신사 외부) 악취(NH₃)발생농도 변화>



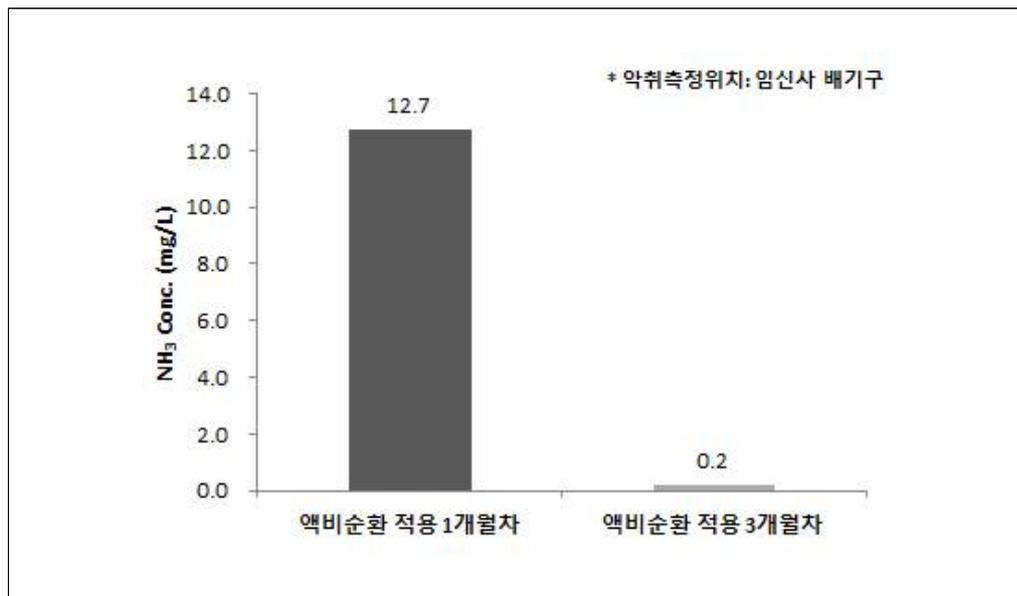
(다) G 농장

- 경남 의령에 위치한 G농장의 경우 액비순환 적용 후 비육사 배기구 악취발생농도가 16.1ppm에서 0.2ppm으로 낮아졌고, 임신사 배기구 악취발생농도의 경우에도 12.7ppm에서 0.2ppm으로 점차 낮아짐.

<액비순환시스템 적용 후 돈사(비육사 배기구) 악취(NH₃)발생농도 변화>



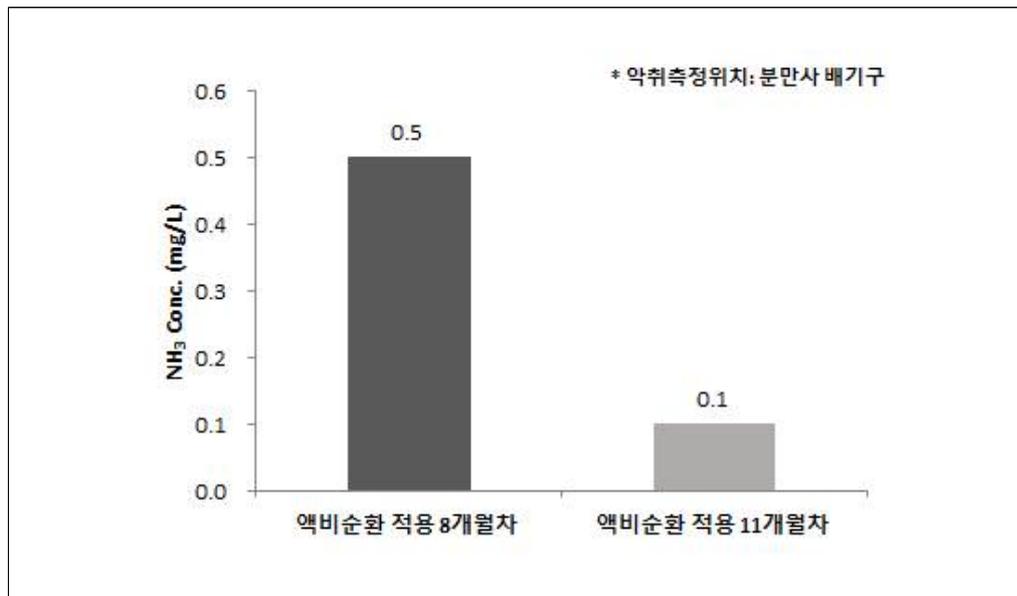
<액비순환시스템 적용 후 돈사(임신사 배기구) 악취농도 변화>



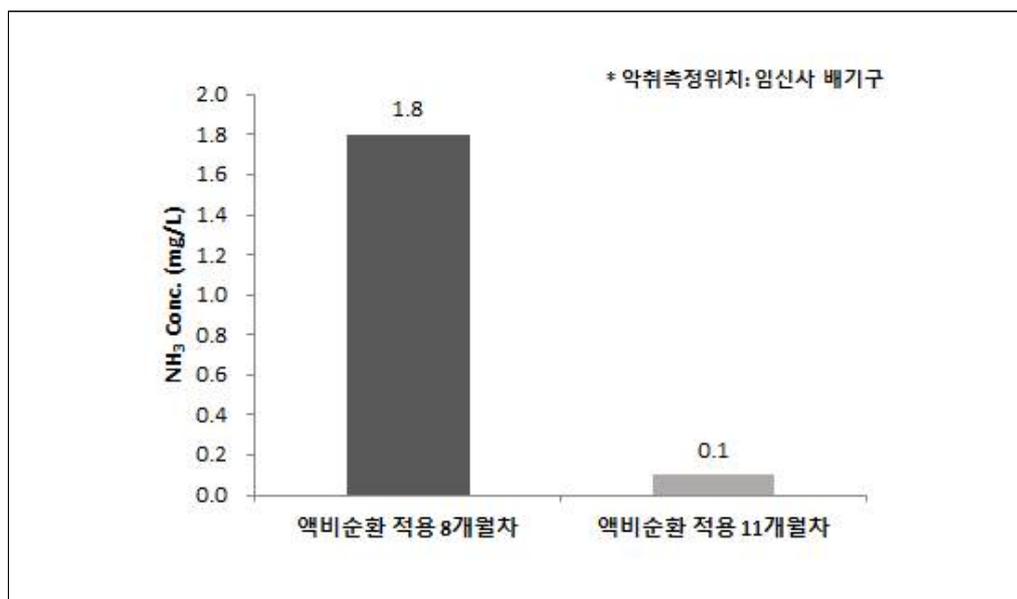
(라) I 농가

- 경북 경산에 위치한 I농장의 경우 액비순환 적용 후 분만사 배기구 악취발생농도가 0.5ppm에서 0.1ppm으로 낮아졌고, 임신사 배기구 악취발생농도의 경우에도 1.8ppm에서 0.1ppm으로 점차 낮아짐.

<액비순환시스템 적용 후 돈사(분만사 배기구) 악취(NH₃)발생농도 변화>



<액비순환시스템 적용 후 돈사(임신사 배기구) 악취(NH₃)발생농도 변화>



(2) 액비순환시스템 적용 시 분뇨 슬러리 성상 변화

- 액비순환시스템 적용 전·후 분뇨 슬러리 성상 변화

- 액비순환시스템 적용 전과 후의 슬러리 성상을 비교해 보면 액비순환시스템 적용 전 슬러리의 성상에서 TAN과 TKN이 높게 나타나 악취발생 잠재물질 농도가 높게 나타남. 그러나 pH가 액비순환 적용 후 높게 나타나 NH_4^+ 의 휘발이 잘 일어나는 환경을 나타내고 있음.

<경기 이천 농가 액비순환시스템 적용 전·후 분뇨 슬러리 성상 변화>

구분	액비순환 적용 후	액비순환 적용 전
pH	7.8	8.13
TAN (mg/L)	1,640±71	1,312±71
TKN (mg/L)	2,706±123	1,763±71

- 액비순환 적용 이후 슬러리 성상 변화

- 액비순환 적용 이후 액비 성상의 변화를 측정한 결과 T-N, NH_4^+ -N 등 악취발생 잠재물질은 연천, 홍성 농가에서 감소하는 것으로 나타남. 그러나 pH는 연천농가에서는 낮아졌고, 홍성 농가에서는 높아진 것으로 나타남.

<경기 연천 농가 액비순환시스템 적용 전·후 분뇨 슬러리(순환수) 성상 변화>

구분	액비순환 적용 후 1차	액비순환 적용 후 2차
pH	7.91	7.55
EC(ms/cm)	15.51	14.02
T-N (mg/L)	858.8	781.1
NH_4^+ -N (mg/L)	7.1	14.3

<충남 홍성 농가 액비순환시스템 적용 전·후 슬러리(순환수) 성상 변화>

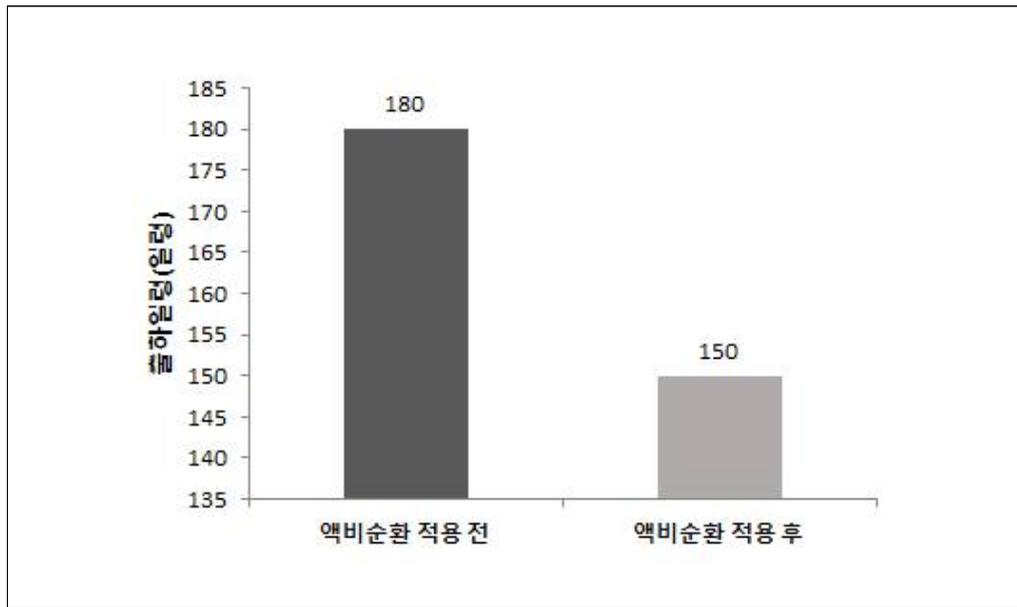
구분	액비순환 적용 후 1차	액비순환 적용 후 2차
pH	7.17	7.87
EC(ms/cm)	9.78	7.32
T-N (mg/L)	383.6	176.9
NH_4^+ -N (mg/L)	14.3	14.3

(3) 액비순환시스템 적용 시 농장 생산성 변화

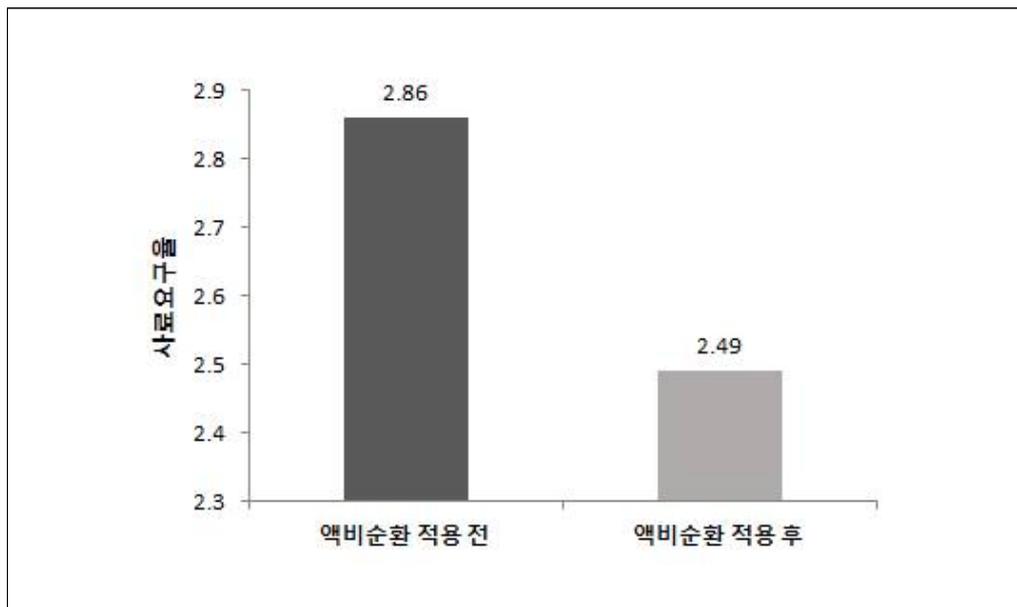
(가) A 농가

- 경남 고성에 위치한 A농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 출하일령은 180일에서 150일로 줄어들고, 사료요구율은 2.86에서 2.49로 낮아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(출하일령, 사료요구율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(출하일령) 변화>



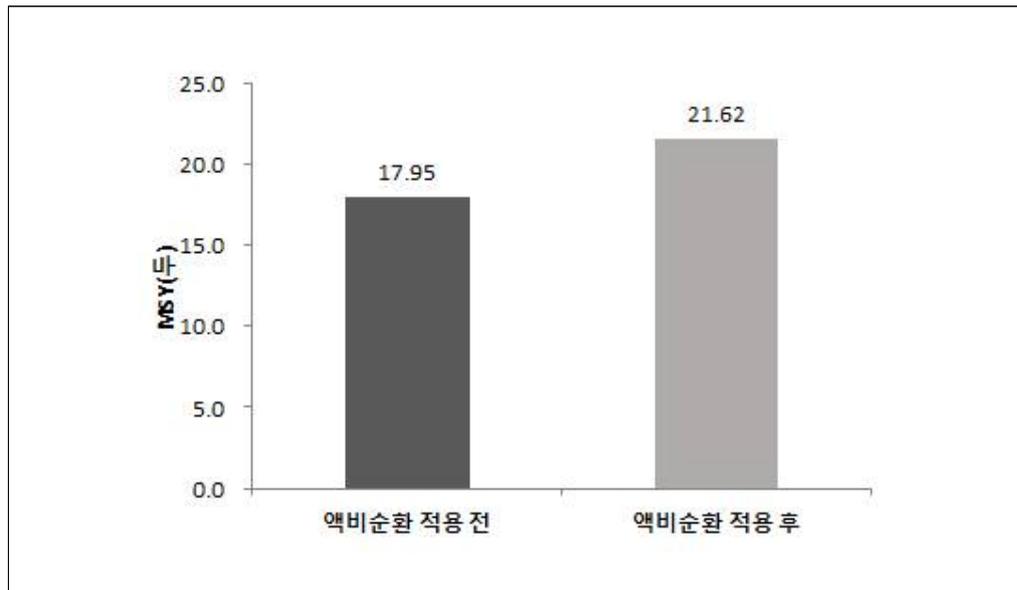
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(사료요구율) 변화>



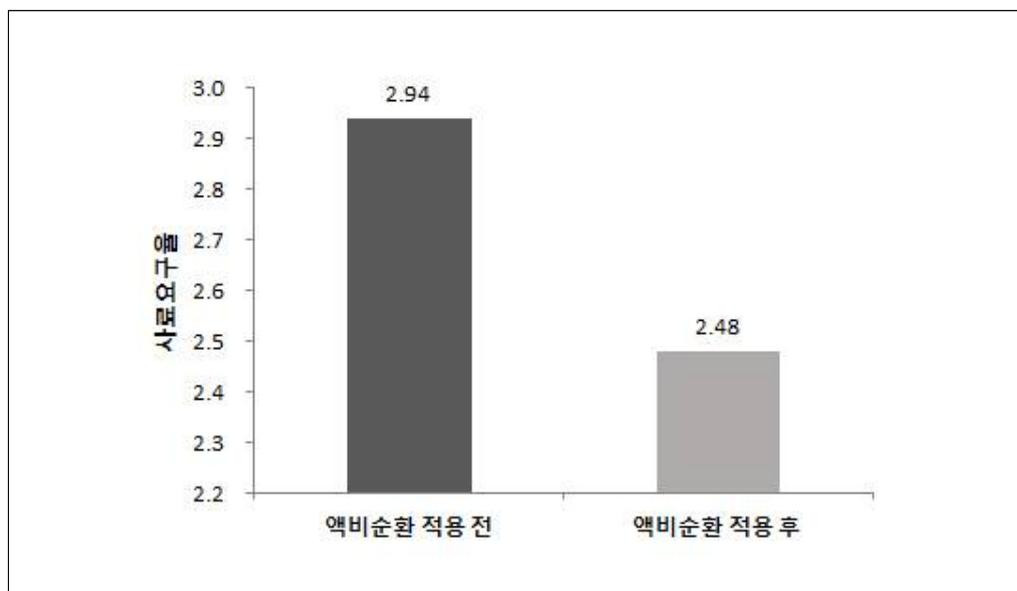
(나) B 농가

- 경남 고성에 위치한 B농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 MSY는 17.95두에서 21.62두로 늘어났고, 사료요구율은 2.94에서 2.48로 낮아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(MSY, 사료요구율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(MSY) 변화>



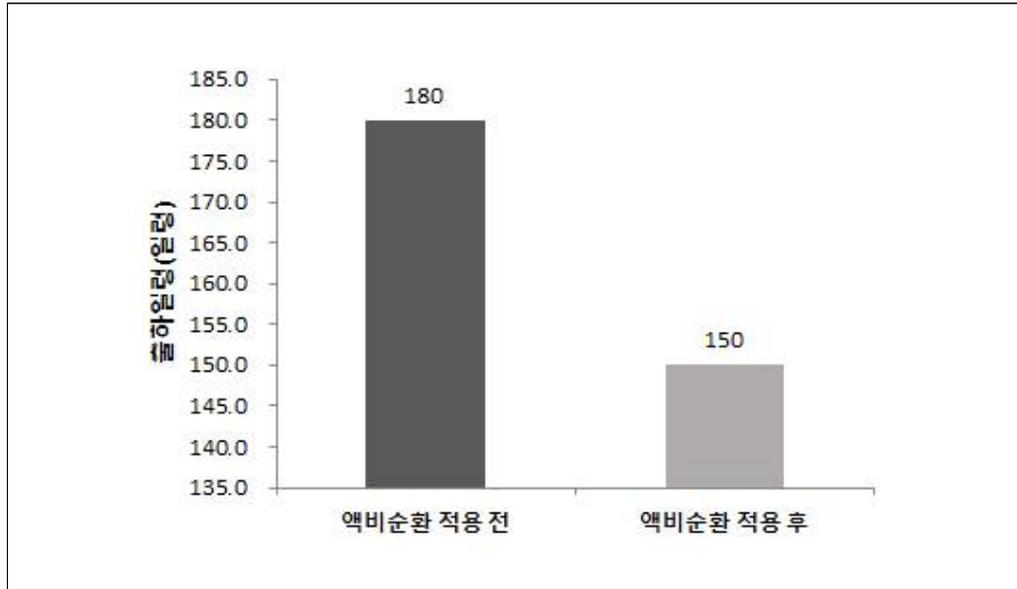
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(사료요구율) 변화>



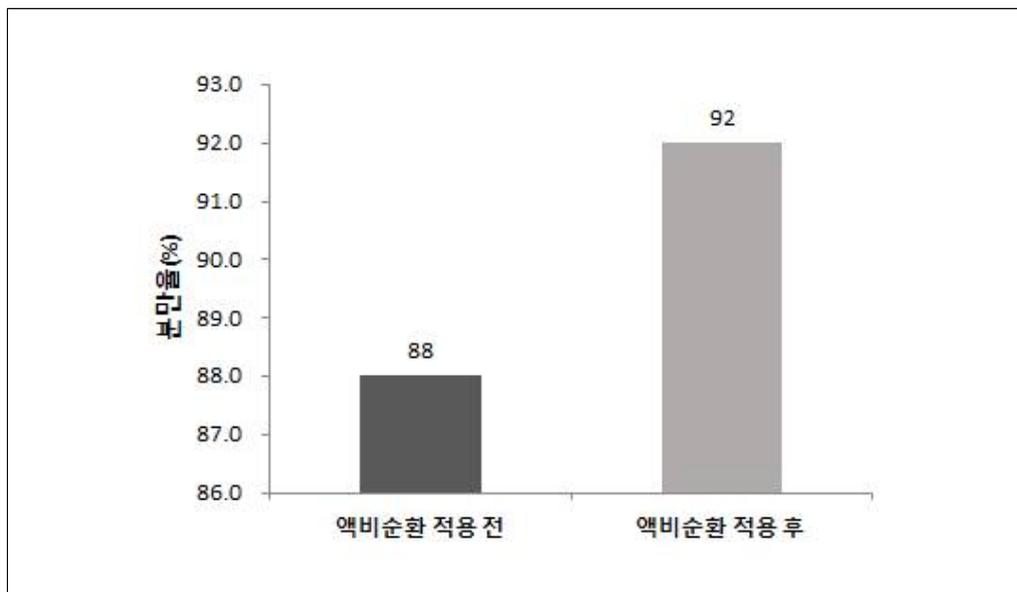
(다) D 농장

- 경남 고성에 위치한 D농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 출하일령은 180일에서 150일로 줄어들었고, 분만율은 88%에서 92%로 높아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(출하일령, 분만율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(출하일령) 변화>



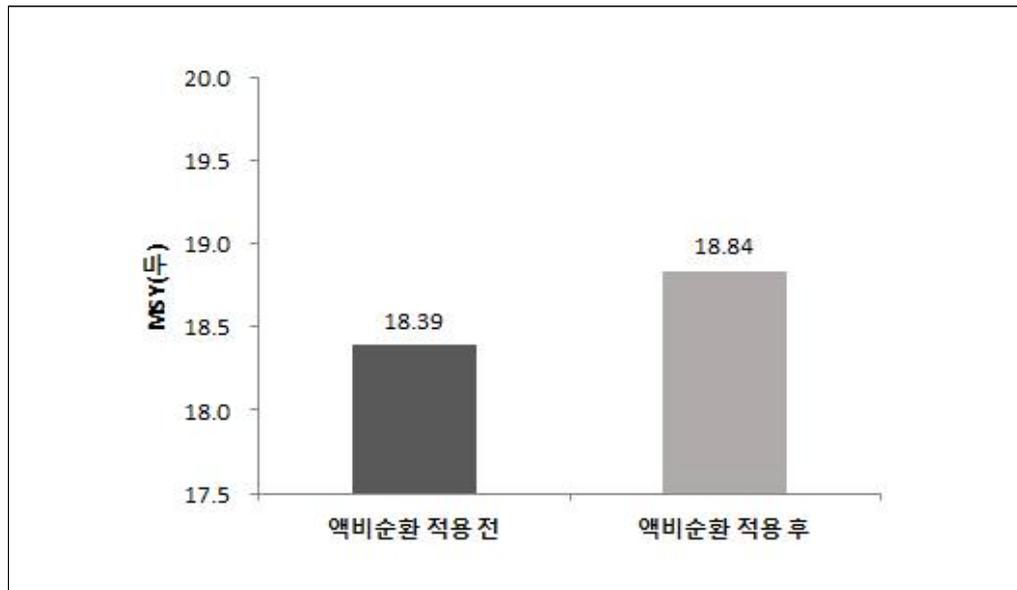
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(분만율) 변화>



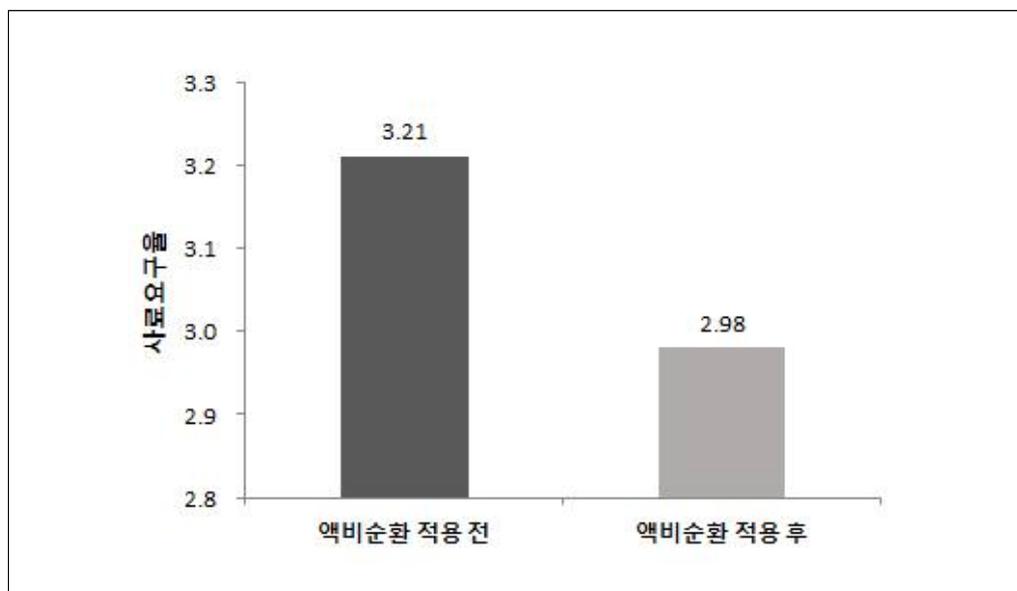
(라) E 농장

- 경남 고성에 위치한 E농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 MSY는 18.39두에서 18.84두로 늘어났고, 사료요구율은 3.21에서 2.98로 낮아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(MSY, 사료요구율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(MSY) 변화>



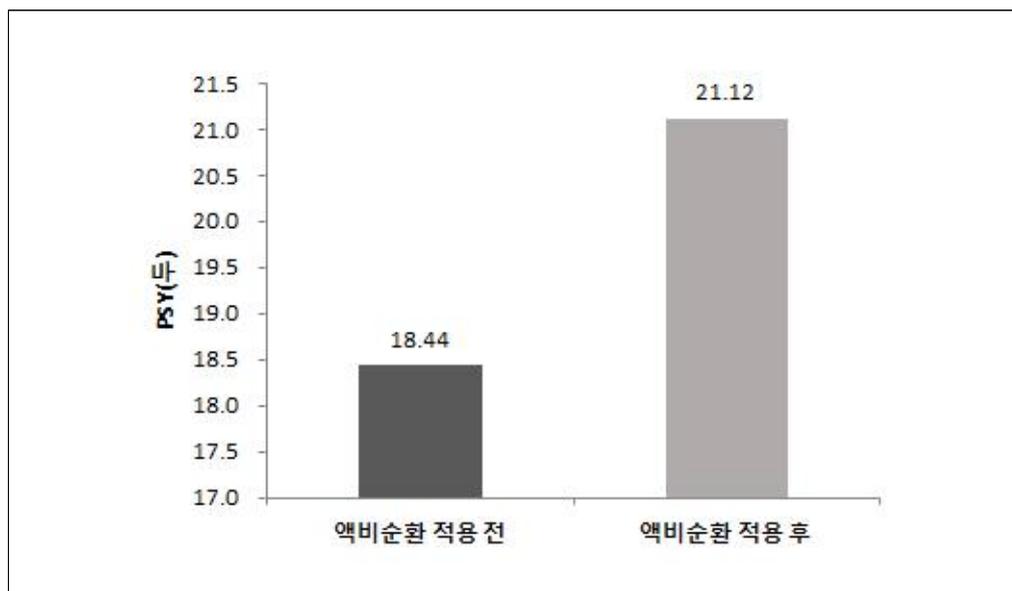
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(사료요구율) 변화>



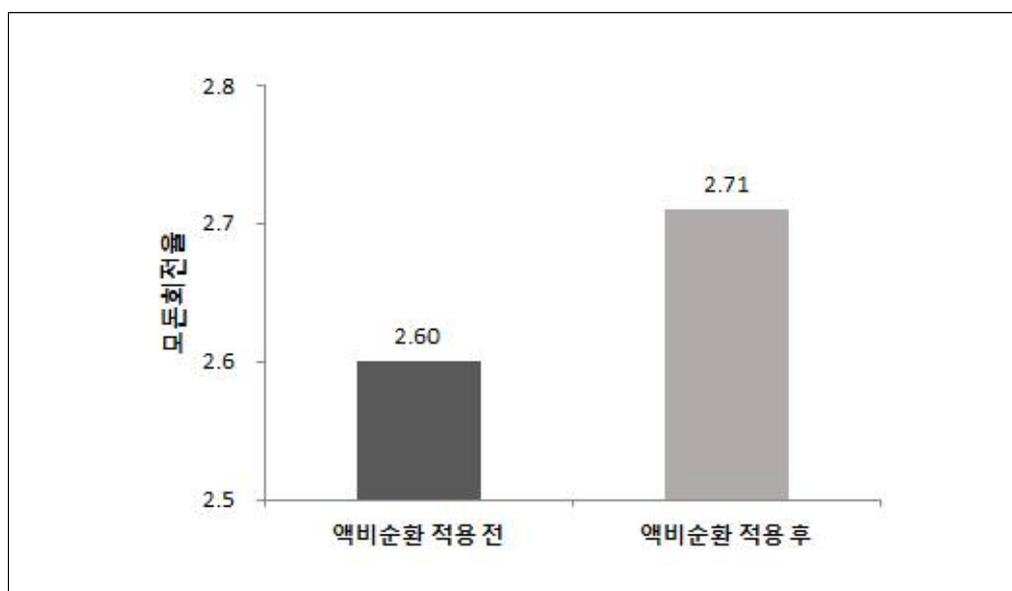
(마) F 농장

- 경남 고성에 위치한 F농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 PSY는 18.44두에서 21.12두로 늘어났고, 모돈회전율은 2.60에서 2.71로 높아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(PSY, 모돈회전율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(PSY) 변화>



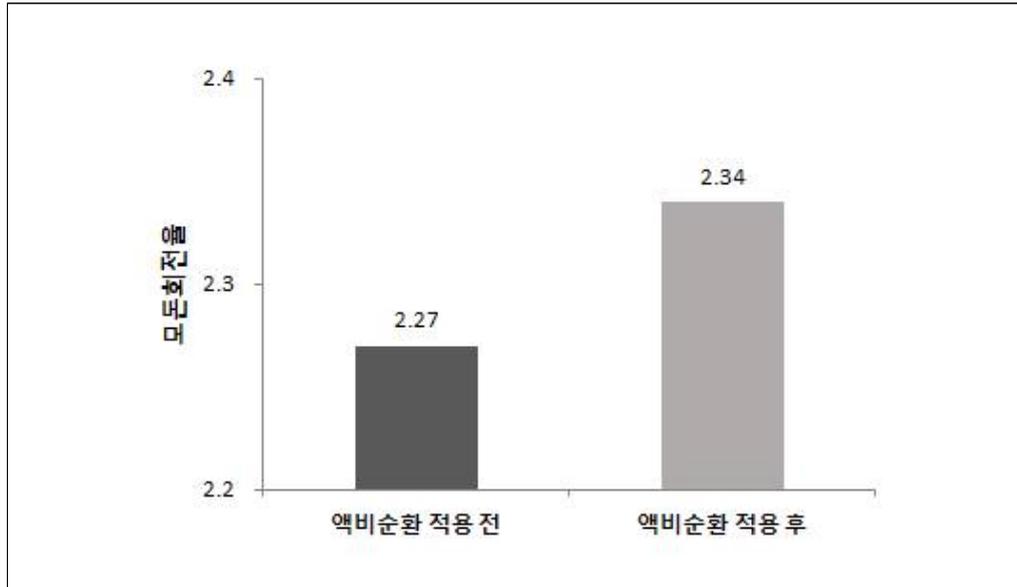
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(모돈회전율) 변화>



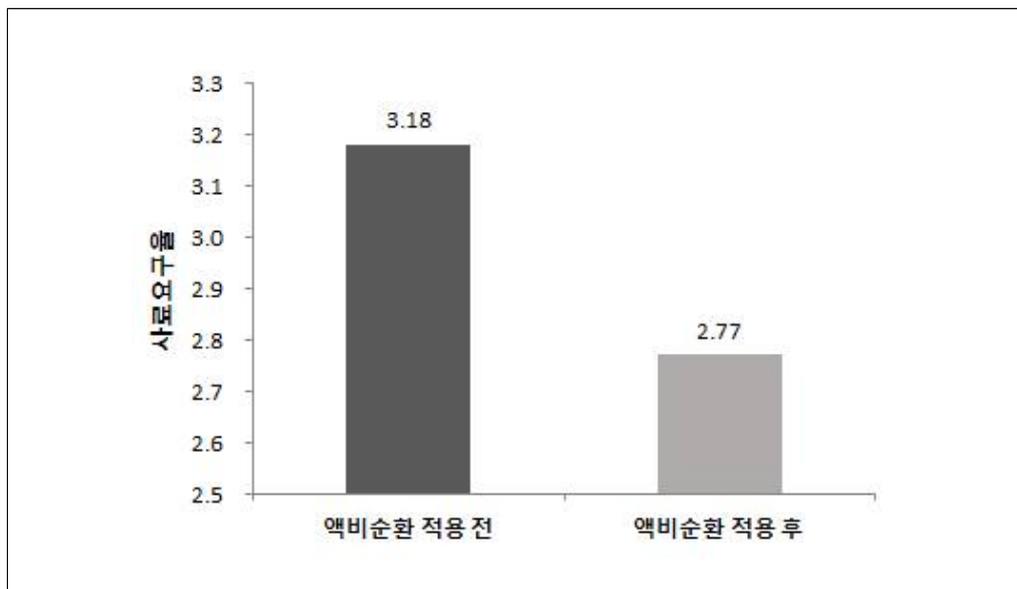
(바) G 농장

- 경남 의령에 위치한 G농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 모돈회전율은 2.27에서 2.34로 높아졌고, 사료요구율은 3.18에서 2.77로 낮아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(모돈회전율, 사료요구율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(모돈회전율) 변화>



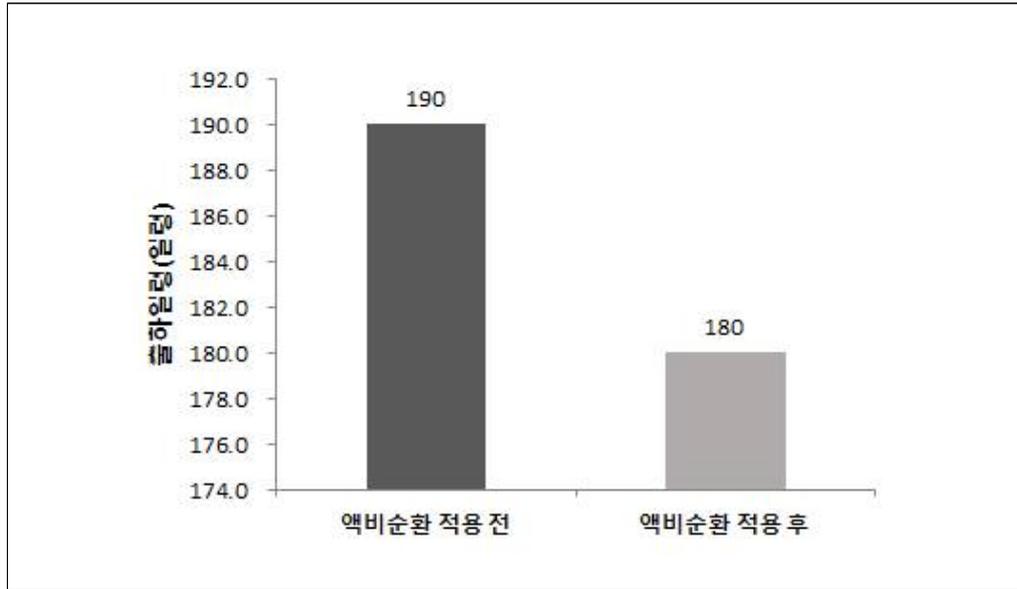
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(사료요구율) 변화>



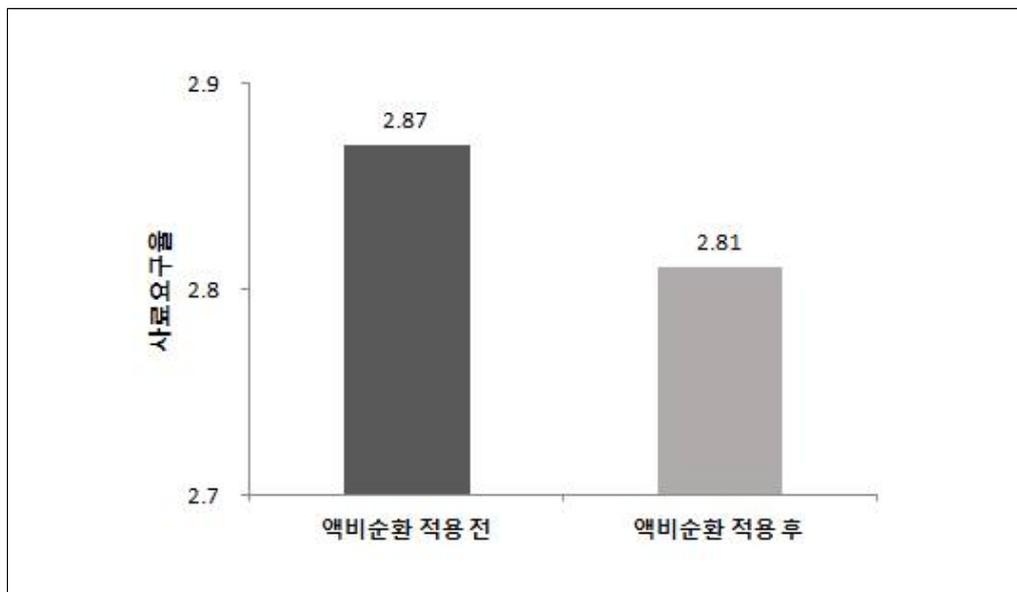
(사) H 농장

- 경남 의령에 위치한 H농장의 경우 액비순환시스템 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 출하일령은 190일에서 180일로 줄어들었고, 사료요구율은 2.87에서 2.81로 낮아진 것으로 나타나 액비순환시스템 적용 후 생산성(출하일령, 사료요구율)이 높아진 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(출하일령) 변화>



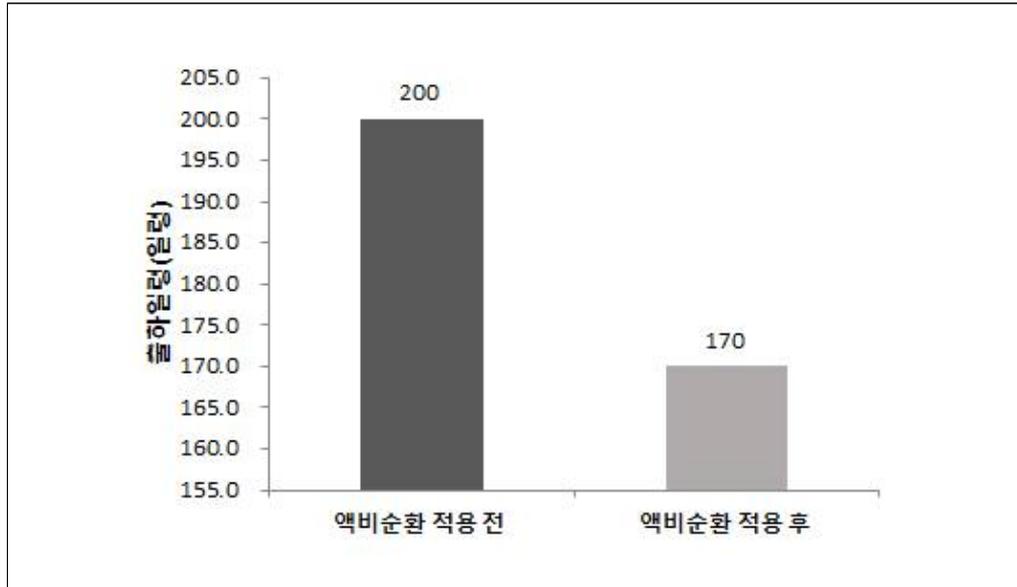
<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(사료요구율) 변화>



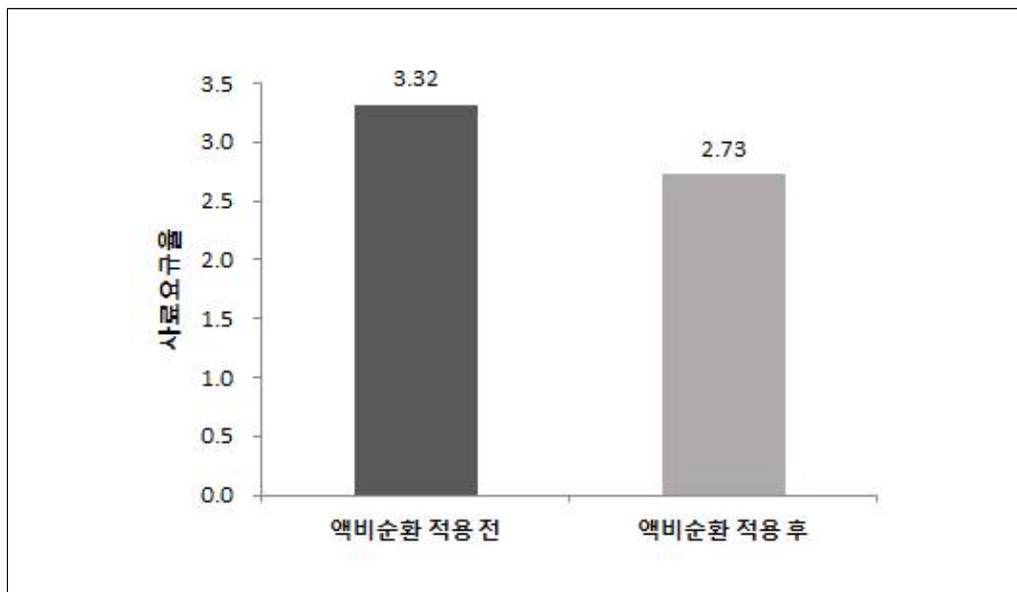
(아) I 농장

- 경남 의령에 위치한 H농장의 경우 액비순환 적용 전과 후의 생산성(5개월 평균)을 비교·분석한 결과 출하일령은 200일에서 170일로 줄어들었고, 사료요구율은 3.32에서 2.73으로 높아진 것으로 나타나 액비순환 적용 후 생산성(출하일령, 사료요구율)이 향상된 것을 알 수 있었음.

<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(출하일령) 변화>



<액비순환시스템 적용 전·후 생산성(사료요구율) 변화>



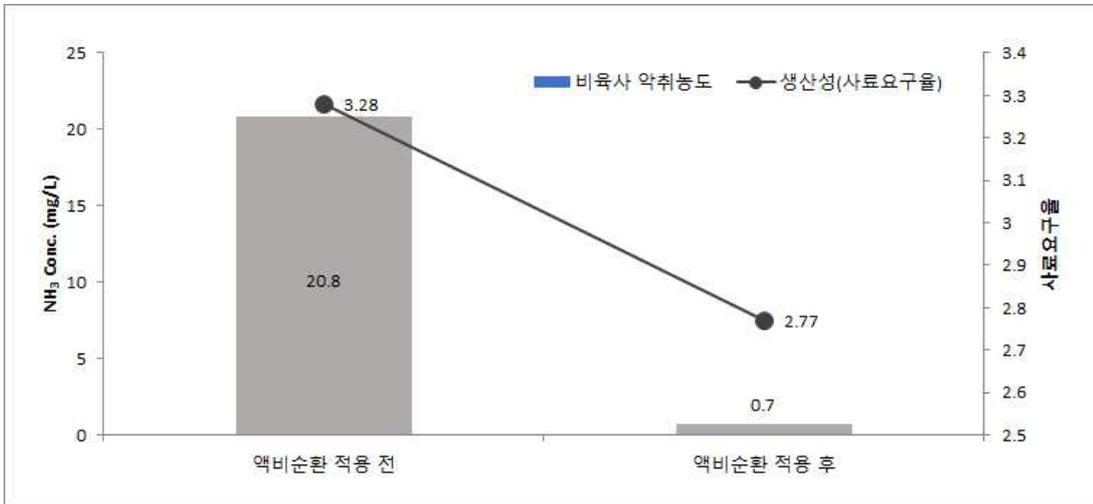
바. 액비순환시스템 적용 시 악취(NH₃)발생농도 감소에 따른 생산성 개선효과 분석

(1) 관행 슬러리 돈사와 액비순환시스템 돈사 내 악취발생농도 및 생산성 분석

- G농장 : 액비순환시스템 적용 전(관행슬러리)과 후(액비순환) 악취농도 및 생산성 분석

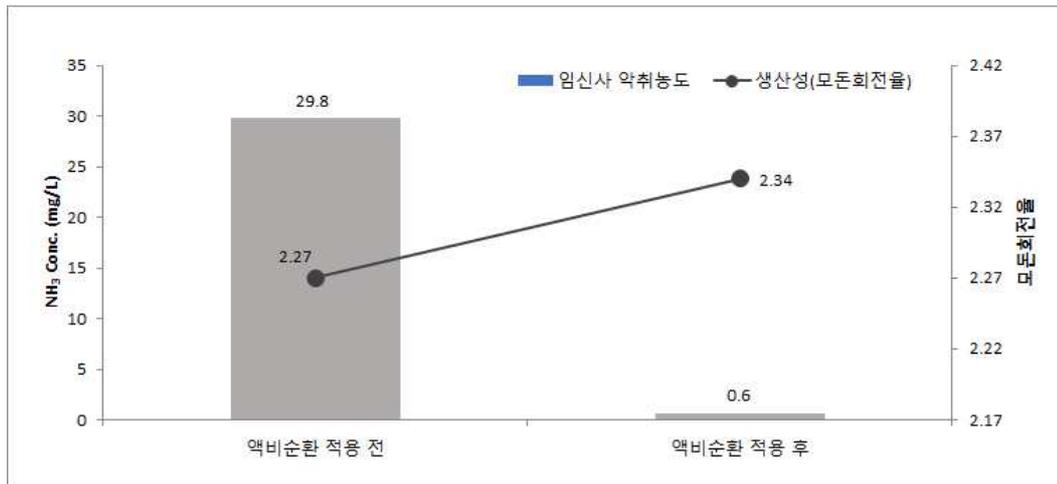
- 경남 의령에 위치한 G농장의 경우 액비순환시스템 적용 전·후의 악취발생농도와 생산성을 분석한 결과 액비순환시스템 적용 전 악취발생농도(비육돈사 내부)는 20.8ppm으로 나타났고, 같은 기간 사료요구율은 3.28로 나타남. 액비순환시스템 적용 후 악취발생농도는 0.7로 적용 전과 비교하여 감소하였고, 같은 기간 사료요구율은 2.77로 적용 전과 비교하여 낮아졌음. 액비순환시스템 적용 전과 후를 비교하면 악취발생농도가 감소하였고, 동 기간에 생산성(사료요구율, 모돈회전율)이 향상된 것으로 나타남.

<비육사 악취발생농도 및 생산성(사료요구율)>



주) 악취측정 위치: 비육사 배기구

<임신사 악취발생농도 및 생산성(모돈회전율)>



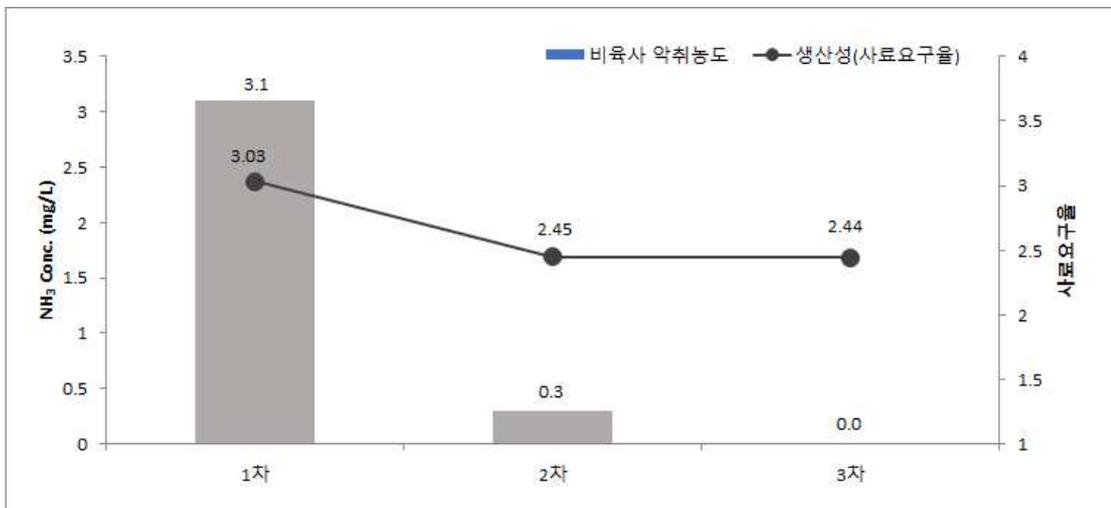
주) 악취측정 위치: 임신사 배기구

(2) 액비순환시스템 적용 시 돈사 내 악취발생농도 변화에 따른 생산성 분석

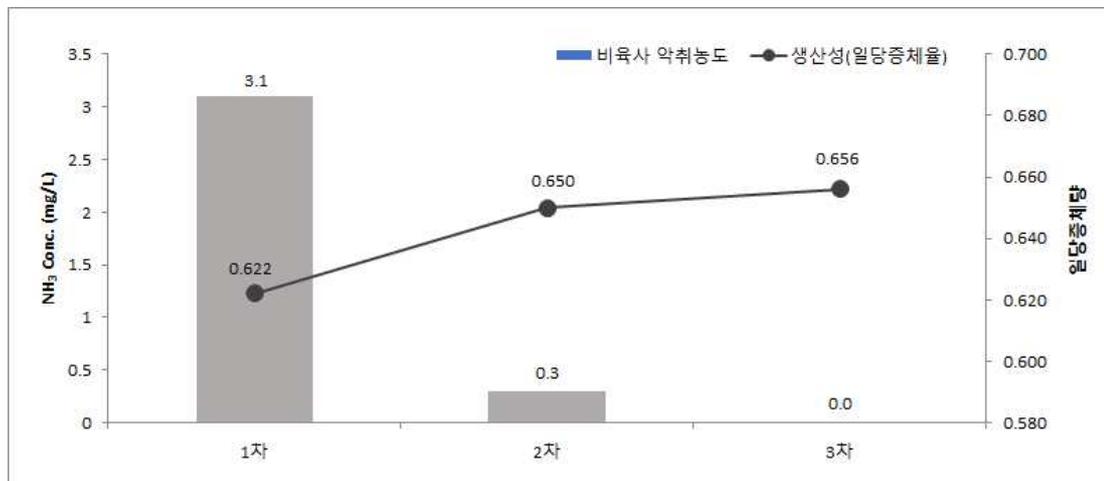
- 경남의령 G농장 액비순환시스템 적용 후 악취농도 및 생산성 변화 분석

- 경남 의령에 위치한 G농장의 경우 액비순환 적용 후 악취농도의 변화와 생산성을 분석한 결과 액비순환 적용 후 1차 측정 악취발생농도 3.1ppm, 같은 기간 사료요구율은 3.03, 일당증체량은 0.622kg으로 나타났고, 2차 측정 악취발생농도는 0.3ppm, 사료요구율은 2.45, 일당증체량은 0.650kg, 3차 측정 악취발생농도는 0.0ppm, 사료요구율은 2.44m 일당증체량은 0.656kg으로 나타남.
- * 악취발생농도는 3개월 간격으로 1차, 2차, 3차로 구분하여 축산악취 ICT 모니터링 자료를 활용하였고, 생산성 자료도 동일 기간의 한돈팜스 성적자료를 활용하였음.
- 액비순환시스템 적용 후 점차적으로 악취발생농도가 감소하였고, 동 기간에 생산성(사료요구율, 일당증체량)도 점차 향상된 것으로 나타남.

<비육사 악취발생농도 및 생산성(사료요구율) 변화>



<비육사 악취발생농도 및 생산성(일당증체량) 변화>



주) 악취측정 위치: 비육사 외부

사. 액비순환시스템 도입 농장의 돈사 악취발생농도와 생산성의 상관관계 분석

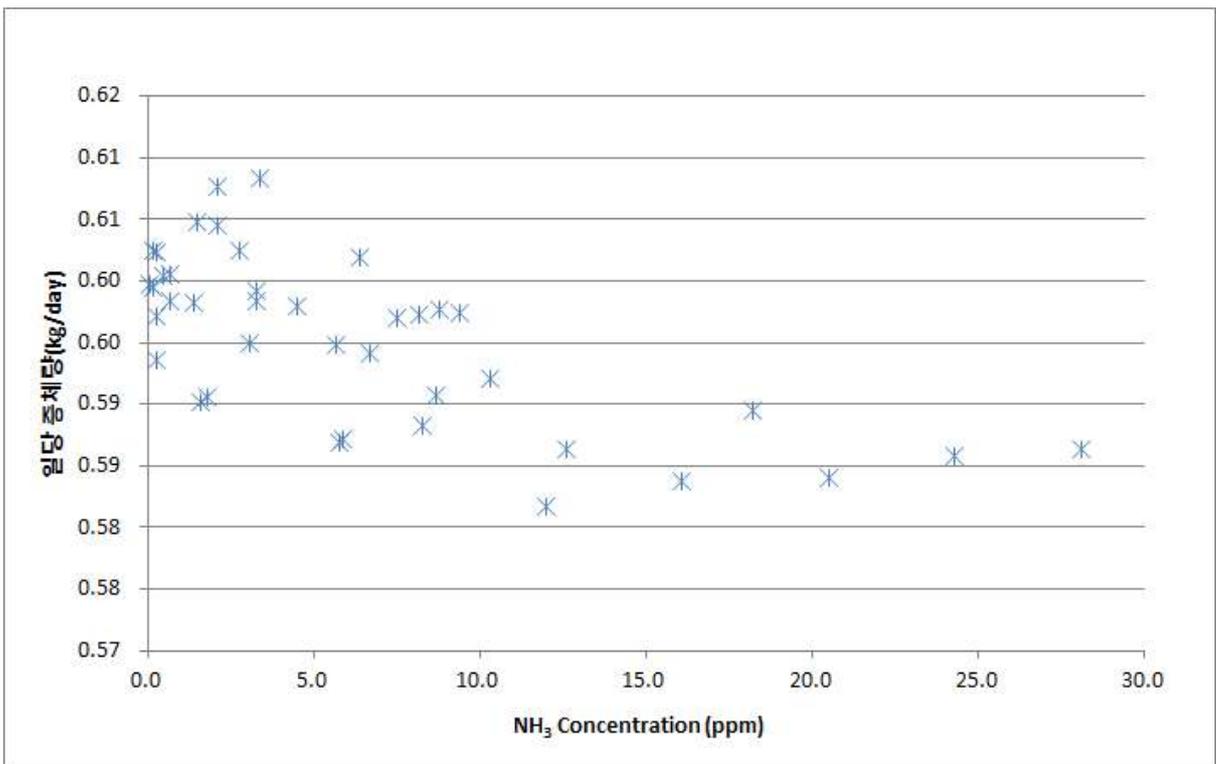
- 액비순환시스템을 도입한 양돈농장의 돈사 악취저감 등 환경개선 여부가 생산성에 미치는 영향을 파악하기 위해 먼저, 액비순환시스템 도입에 따른 돈사 내·외부 악취(NH₃) 발생농도 측정 자료와 동 기간 내 농장 생산성적(일당증체율, 사료요구율 등) 변화 자료를 이용하여 돈사 악취발생농도와 생산성의 상관관계를 분석하였음.

(1) 액비순환시스템 도입 농장의 돈사 악취(NH₃) 발생농도와 일당증체량 상관관계 분석

- 악취(NH₃) 발생농도와 일당증체량은 음(-)의 상관관계가 있고, 유의수준 0.5에서 통계적으로 유의성이 있는 것으로 나타남.

<액비순환시스템 도입 농장의 악취(NH₃) 발생농도와 일당증체량 상관관계 분석>

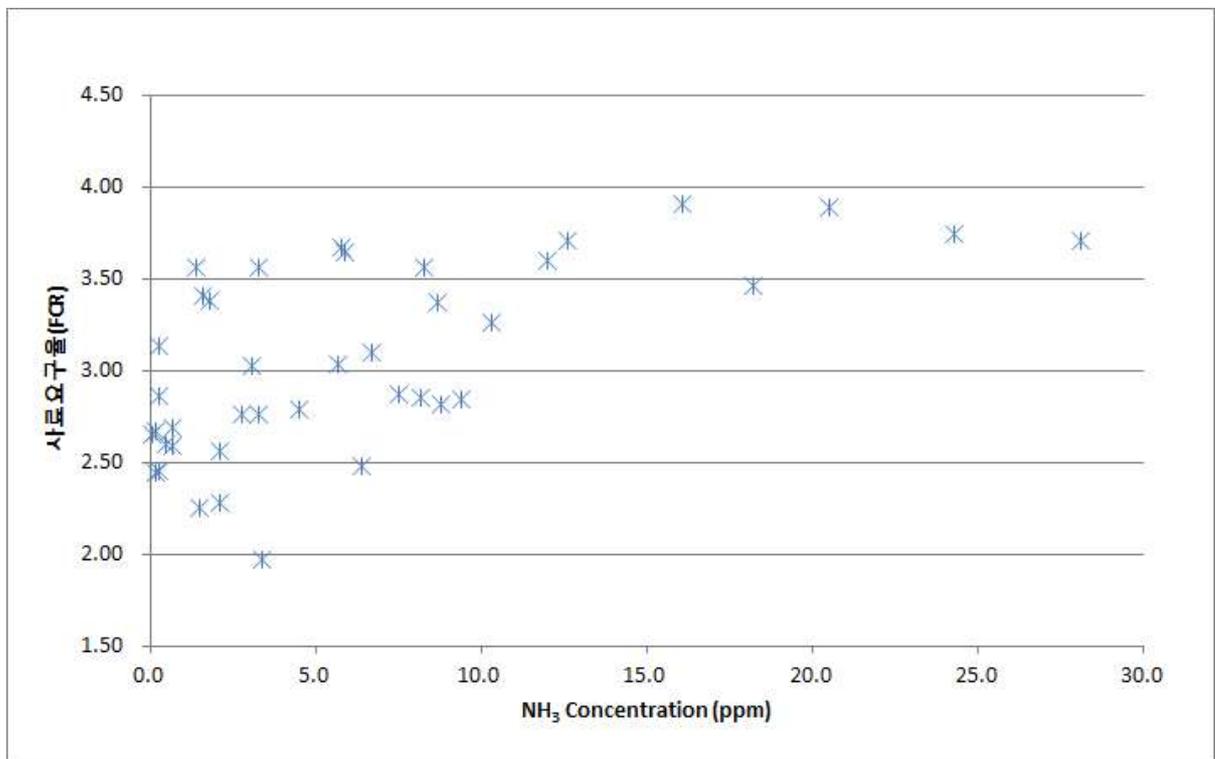
구분		악취(NH ₃) 발생농도	일당증체량
악취(NH ₃) 발생농도	Pearson 상관계수	1	-0.312
	유의확률 (양쪽)		0.050
	N	40	40
일당증체량	Pearson 상관계수	-0.312	1
	유의확률 (양쪽)	0.050	
	N	40	40



- (2) 액비순환시스템 도입 농장의 돈사 악취(NH_3) 발생농도와 사료요구율(FCR) 상관관계 분석
- 악취(NH_3) 발생농도와 사료요구율(FCR)은 정(+)의 상관관계가 있고, 유의수준 0.1에서 통계적으로 유의성이 있는 것으로 나타남.

<액비순환시스템 설치 농장 악취발생농도(NH_3)와 사료요구율(FCR) 상관관계>

구분		악취발생농도(NH_3)	사료요구율(FCR)
악취발생농도 (NH_3)	Pearson 상관계수	1	0.308
	유의확률 (양쪽)		0.053
	N	40	40
사료요구율 (FCR)	Pearson 상관계수	0.308	1
	유의확률 (양쪽)	0.053	
	N	40	40



아. 액비순환시스템 도입에 의한 돈사환경 개선이 농장 생산성/소득에 미치는 영향 분석

- 액비순환시스템을 도입한 농장에서 돈사 악취저감을 통해 돈사환경을 개선하고, 생산성이 향상되었을 경우 농장 소득이 얼마나 증대될 수 있는지 알아보기 위하여 악취(NH₃) 발생농도 측정 자료와 동 기간 내 생산성(사료요구율) 변화자료를 조사하고, 각각의 평균 증감률을 산출하여 악취발생농도 변화율에 따른 사료요구율을 산출하였으며, 다음으로 사료요구율 변화에 따른 비육돈 두당 사료비를 산출하여 그 결과를 바탕으로 농장 경영비와 소득을 추정하였음.

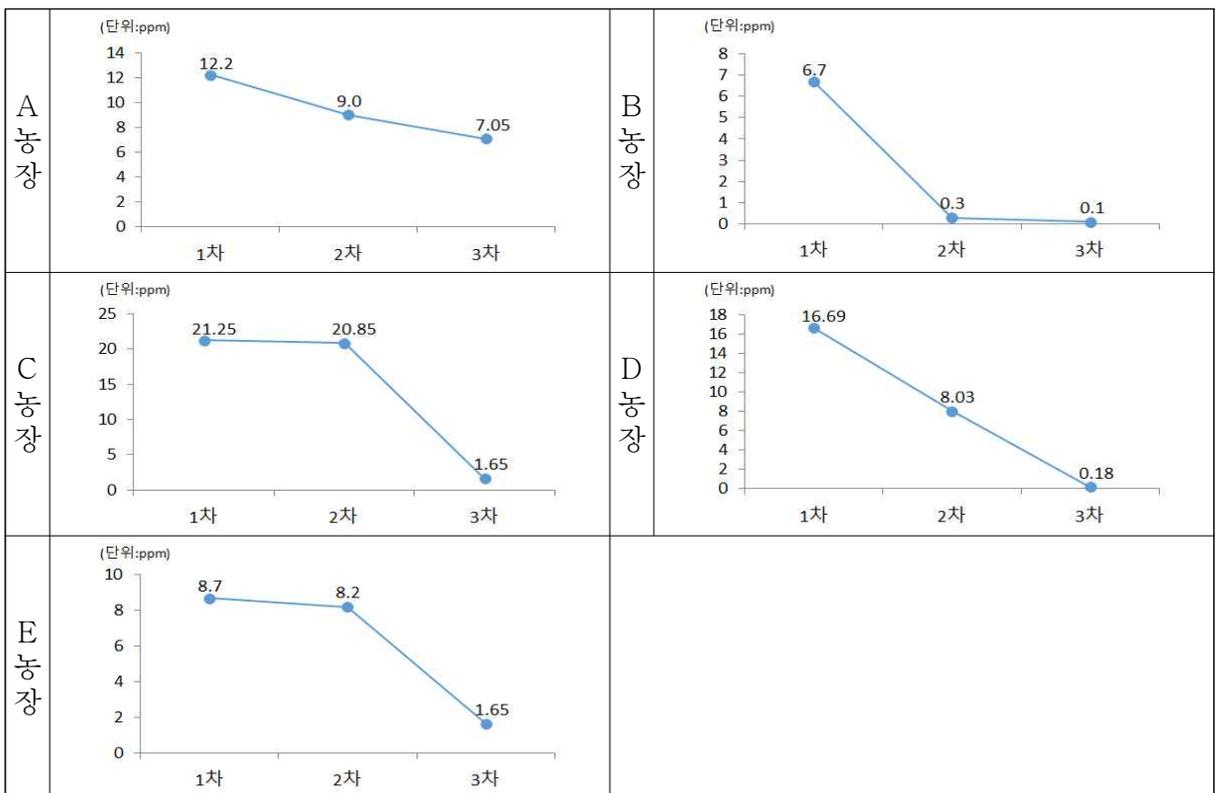
(1) 액비순환시스템 도입 농장의 돈사 악취(NH₃) 발생농도 변화 분석

- 농장에서 액비순환시스템을 설치한 이후 발생하는 악취(NH₃) 발생농도를 측정한 결과 각각 농장별로 많게는 98.9%, 적게는 42.2%의 악취발생농도 저감율을 보였으며, 평균 82.6%의 저감율을 나타냄.

<액비순환시스템 적용 후 악취(NH₃) 발생농도 변화>

구분	액비순환 적용 후 악취(NH ₃) 발생농도 측정 결과 (ppm)			
	1차	2차	3차	증감율(%) 1차→3차
A농장	12.20	9.00	7.05	△ 42.2%
B농장	6.70	0.30	0.10	△ 98.5%
C농장	21.25	20.85	1.65	△ 92.2%
D농장	16.69	8.03	0.18	△ 98.9%
E농장	8.70	8.20	1.65	△ 81.0%

주) 악취측정위치: 돈사내부(A) 돈사외부(B, E), 돈사배기구(C, D)



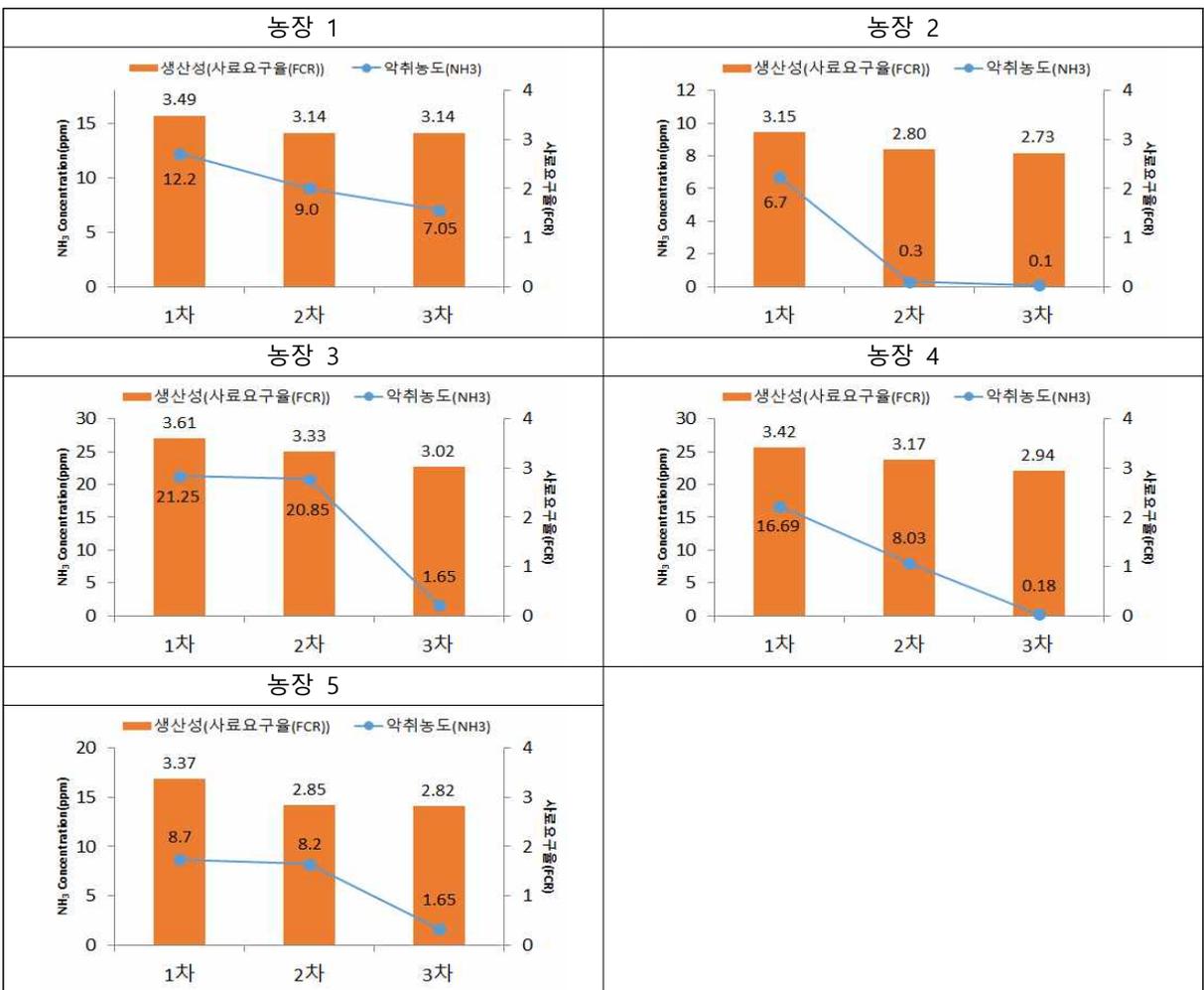
(2) 액비순환시스템 돈사 악취(NH₃)발생농도에 따른 농장 사료요구율(FCR) 변화 분석

- 농장에서 액비순환시스템을 설치한 이후 발생하는 악취발생농도와 동 기간의 사료요구율을 조사분석한 결과 각각 농장별로 돈사 악취발생농도가 약 42~99% 저감될 때 사료요구율은 약 10~16% 향상되는 것으로 나타남.

<액비순환시스템 도입 농장의 악취(NH₃)발생농도에 따른 농장 사료요구율(FCR)>

구분	1차		2차		3차		증감율(%) 1차→3차	
	악취농도 (ppm)	사료요구율 (FCR)	악취농도 (ppm)	사료요구율 (FCR)	악취농도 (ppm)	사료요구율 (FCR)	악취농도 (ppm)	사료요구율 (FCR)
농장 1	12.20	3.49	9.00	3.51	7.05	3.14	△ 42.2%	△ 10.0%
농장 2	6.70	3.15	0.30	2.80	0.10	2.73	△ 98.5%	△ 13.3%
농장 3	21.25	3.61	20.85	3.33	1.65	3.02	△ 92.2%	△ 16.3%
농장 4	16.69	3.42	8.03	3.17	0.18	2.94	△ 98.9%	△ 14.0%
농장 5	8.70	3.37	8.20	2.85	1.65	2.82	△ 81.0%	△ 16.3%

주) 생산성은 사료요구율(FCR) 성적을 이용함



(3) 액비순환시스템 돈사 악취(NH₃)발생농도 저감에 따른 사료요구율(FCR) 개선효과 분석

- 돈사 내 악취발생농도 변화에 따른 사료요구율 변화를 보면 각각 농장별로 악취발생농도 1%가 저감되었을 경우 사료요구율이 많게는 0.008, 적게는 0.004가 낮아지며, 평균 0.006 이 낮아지는 것으로 나타남.

* 단, 돈사내부 및 배기구 악취(NH₃)발생농도 17±5ppm 범위 또는 돈사외부 악취발생농도 8±1ppm 범위에 속하고, 사료요구율이 3.400이상인 농장에 한해 악취발생농도 저감에 따른 사료요구율 개선효과를 적용할 수 있음.

<액비순환시스템 설치 후 악취(NH₃)발생농도 변화에 따른 농장 사료요구율(FCR) 분석>

구분	액비순환 적용 후 악취(NH ₃)농도(ppm)			액비순환 적용 후 사료요구율(FCR)			악취농도 1% 저감 시 FCR 증감
	1차	3차	증감율(%)	1차	3차	증감	
A농장	12.20	7.05	△ 42.2%	3.49	3.14	△0.35	△0.008
B농장	6.70	0.10	△ 98.5%	3.15	2.73	△0.42	△0.004
C농장	21.25	1.65	△ 92.2%	3.61	3.02	△0.59	△0.006
D농장	16.69	0.18	△ 98.9%	3.42	2.94	△0.48	△0.005
E농장	8.70	1.65	△ 81.0%	3.37	2.82	△0.55	△0.007
평균	-	-	△ 82.6%	-	-	△0.48	△0.006

(4) 사료요구율(FCR) 개선에 따른 사료비 절감효과 분석

- 사료요구율이 2.8~3.5일 때 비육돈 두당 사료비를 산출하면 182,538~228,172원으로 나타남.

- 사료요구율이 0.1 낮아질 때마다 사료비는 6,519원/두씩 절감되고, 사료요구율이 0.006 낮아질 경우에는 사료비가 391원/두씩 절감되는 것으로 나타남.

<사료요구율(FCR) 향상에 따른 농가소득>

구분	사료요구율(FCR)							
	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
비육돈 두당 사료비(원)	182,538	189,057	195,576	202,095	208,614	215,134	221,653	228,172
사료요구율이 0.1 낮아질 경우 비육돈 두당 사료비 절감액(원)	6,519							
사료요구율이 0.006 낮아질 경우 비육돈 두당 사료비 절감액(원)	391							

주) 평균출하체중 116kg, 사료비 562원/kg

(5) 액비순환시스템 돈사 악취(NH₃)발생농도 저감에 따른 농장소득 개선효과 분석

- 돈사 악취발생농도 저감에 따른 농장소득의 변화를 분석해 보면 악취발생농도가 10%저감 될 때마다 사료요구율이 0.06씩 낮아지면서 사료비가 1.76% 절감되고, 이에 따라 비육돈 두당 농장소득은 3,910원씩 증가하는 것으로 나타남.
- 위와 같이 돈사 악취발생농도 저감될수록 농장 생산성 및 소득이 개선되는 효과가 나타남.

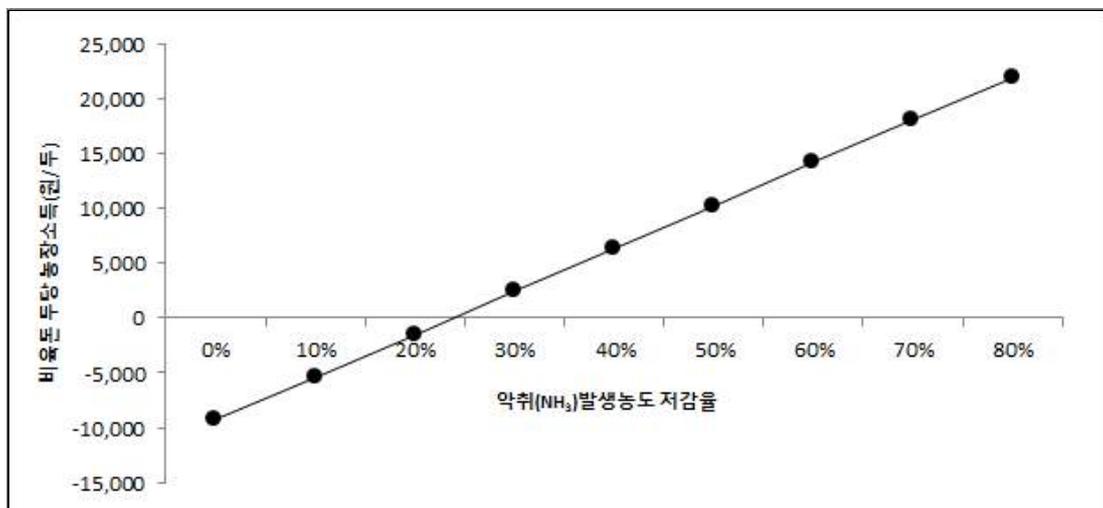
<사료요구율(FCR) 향상에 따른 농장소득 개선효과 분석>

구분	악취(NH ₃)발생농도 저감율								
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
사료요구율	3.400	3.340	3.280	3.220	3.160	3.100	3.040	2.980	2.920
비육돈 두당 매출액(원)	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493
비육돈 두당 경영비(원) (사료비 포함)	395,817	391,905	387,994	384,082	380,171	376,259	372,348	368,436	364,525
비육돈 두당 경영비(원) (사료비 제외)	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164
비육돈 두당 사료비(원)	221,653	217,741	213,830	209,918	206,007	202,095	198,184	194,272	190,361
두당 사료비 절감 비율(%)	0	1.76	3.53	5.29	7.06	8.82	10.59	12.35	14.12
비육돈 두당 농장소득(원)	-9,324	-5,412	-1,501	2,411	6,322	10,234	14,145	18,057	21,968
악취발생농도 10% 저감 시 비육돈 두당 농장소득 증가액(원)	3,910								

주) 출하체중 116kg, 지육가격: 4,384원/kg, 지급률 76%, 사료비 562원/kg, 경영비 중 사료비가 차지하는 비중 54.5%.

비육돈 두당 경영비(사료비 제외)는 사료요구율 3.200(중위 농장)일 때 경영비(사료비 제외)를 일괄 적용함.

<사료요구율(FCR) 향상에 따른 농장소득 개선효과 분석>



자. 액비순환시스템 유형별 악취(NH₃)유발 물질 발생량 변화가 농장 생산성/소득에 미치는 영향 분석

- 액비순환시스템 A~D유형별로 악취발생농도 변화가 농장 생산성 및 소득에 미치는 영향을 분석하기 위하여 먼저, 유형별로 돈사에서 발생하는 악취농도(NH₃)에 따른 사료요구율 변화를 분석하고, 그 결과를 이용하여 액비순환시스템 A~D유형별로 농장소득의 변화를 분석함.

(1) 액비순환시스템 유형별 돈사 악취(NH₃)유발 물질 감소에 따른 사료요구율(FCR) 변화분석

- 액비순환시스템 환경개선 효과 시험결과(동국대)에 의하면 액비순환시스템 유형별로 집수조 원수에 액비를 이용하여 30%정도만 희석하여도 효과적으로 악취(NH₃)유발 물질을 감소시킬 수 있음.
- 액비순환시스템 유형별로 집수조의 용존 잠재 악취유발 물질 함유량에 대비하여 시간당 악취(NH₃)유발 물질 배출량의 비율은 A~D유형별로 각각 23%, 10%, 15%, 18%이고, 액비를 이용하여 30%를 희석하였을 경우의 악취유발 물질 배출량은 각각 5%, 5%, 6%, 12%임.
- 액비를 이용하여 30% 희석하였을 경우의 액비순환시스템 유형별 악취유발 물질 배출량 저감 비율은 A유형 18%, B유형 5%, C유형 9%, D유형 6%임.

* 악취유발 물질 배출량 감소 효과는 액비순환시스템 유형별로 해당 농장에서의 성능을 보여주는 시험결과이며, 각 유형별 액비순환시스템의 성능을 대표하는 지표는 아님

- 악취(NH₃)유발 물질 배출량이 1% 저감될 때 마다 사료요구율은 0.006씩 낮아지게 되므로 위와 같이 A~D유형별로 악취유발 물질 배출량이 저감 될 때 유형별 사료요구율은 A유형이 0.108 감소, B유형은 0.030 감소, C유형은 0.054 감소, D유형은 0.036이 감소되는 것으로 나타남.

<액비순환시스템 유형별 악취(NH₃)유발 물질 발생량 감소에 따른 사료요구율(FCR)>

구분	액비순환시스템 A유형	액비순환시스템 B유형	액비순환시스템 C유형	액비순환시스템 D유형
악취유발 물질 배출 비율 - 집수조	23%	10%	15%	18%
악취유발 물질 배출 비율 - 30%희석	5%	5%	6%	12%
악취유발 물질 배출량 저감 비율	△ 18%	△ 5%	△ 9%	△ 6%
악취물질 배출량 감소에 따른 사료요구율 변화	△ 0.108	△ 0.030	△ 0.054	△ 0.036

자료: 동국대, 액비순환시스템 환경개선 효과 시험 결과 이용

(2) 액비순환시스템 유형별 악취(NH₃)유발 물질 발생량 감소에 따른 농가소득 분석

- 액비순환시스템 유형별로 기존 사료요구율을 3.200으로 가정하여 희석 사료요구율을 계산하면 A유형은 3.092, B유형 3.170 C유형 3.146, D유형 3.164 임.

* 기존 사료요구율 : 돈사 내 집수조 원수 악취유발 물질 배출시 사료요구율

희석 사료요구율 : 돈사 내 30% 희석 원수 악취유발 물질 배출시 사료요구율

2019년 한돈팜스 중위 농장 평균 사료요구율 3.2

악취(NH₃) 발생농도 1% 저감 시 사료요구율이 0.006 감소

- 기존 및 희석 사료요구율을 이용하여 비육돈 두당 사료비를 계산하면 기존 사료요구율 (3.200)일 때 사료비는 208,614원이고, 희석 사료요구율 일 때 사료비는 유형별로 A유형은 201,574원, B유형은 206,659원, C유형은 205,094원, D유형은 206,267원으로 나타남.

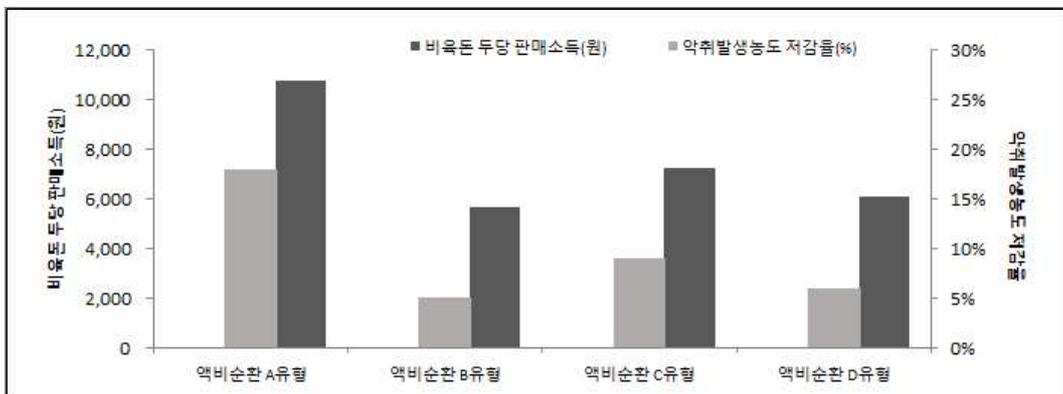
- 악취유발 물질 발생량이 A~D유형별로 각각 18%, 5%, 9%, 6%가 저감 될 때 사료비는 각각 3.38%, 0.94%, 1.69%, 1.13%가 절감되며, 이에 따라 비육돈 두당 농장소득은 A유형 10,755 원, B유형 5,670원, C유형 7,234, D유형 6,061원이 증가함.

<액비순환시스템 유형별 악취(NH₃)유발 물질 발생량 감소에 따른 농장 생산성/소득>

구분	집수조	30%희석 (집수조+액비)			
	액비순환시스템 공통	액비순환시스템 A유형	액비순환시스템 B유형	액비순환시스템 C유형	액비순환시스템 D유형
악취유발 물질 발생량 저감율	0%	18%	5%	9%	6%
사료요구율	3.200	3.092	3.170	3.146	3.164
비육돈 두당 판매액, 원	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493
비육돈 두당 사료비 (원)	208,614	201,574	206,659	205,094	206,267
비육돈 두당 사료비 절감액 (원) (절감율)	-	7,041 (3.38%)	1,956 (0.94%)	3,520 (1.69%)	2,347 (1.13%)
비육돈 두당경영비 (원)	382,779	375,738	380,823	379,259	380,432
비육돈 두당 농장소득 (원)	3,714	10,755	5,670	7,234	6,061

주) 출하체중 116kg, 지육가격: 4,384원/kg, 지급률 76%, 사료비 562원/kg, 경영비 중 사료비가 차지하는 비중 54.5%.

비육돈 두당 경영비(사료비 제외)는 사료요구율 3.200(중위 농장)일 때 경영비(사료비 제외)를 일괄 적용함.



차. 슬러리 배출 주기에 따른 악취(NH₃) 발생농도 변화가 농장 생산성/소득에 미치는 영향 분석

- 슬러리 돈사 내 피트에 분뇨를 저장하는 기간이 길어지면 악취유발물질 농도가 증가하고 장기간 저장할 경우 슬러리 피트를 비울 때 침전물이 배출되지 않고 누적되어 돈사 내 악취를 유발하게 되고, 지속적으로 침전물이 누적될 경우 슬러리가 고착되는 현상이 일어나 고착슬러리를 제거하기 위한 추가적인 작업과 비용이 발생함.
- 따라서 슬러리 돈사의 경우 피트 내 분뇨가 장기간 저장되지 않도록 주기적으로 슬러리를 배출해야 함.
- 주기적으로 슬러리를 배출했을 경우 돈사 내 악취 변화정도를 파악하기 위해 비육돈 입식부터 3주 간격으로 피트 내 슬러리를 배출하는 돈사와 슬러리를 배출하지 않은 돈사에서 발생하는 악취(NH₃) 발생농도를 비교하는 시험을 실시하였고, 시험결과를 바탕으로 악취발생농도 변화에 따른 농장 생산성(사료요구율)과 소득의 변화를 분석함.

(1) 피트 내 슬러리를 주기적(3주 간격)으로 배출했을 때 돈사 내 악취발생농도(NH₃) 분석

- 3주 간격으로 돈사 피트 내 슬러리를 주기적으로 배출했을 경우와 출하 시까지 슬러리를 배출하지 않았을 경우의 악취발생농도를 비교하면 슬러리를 주기적으로 배출했을 때 평균 17% 정도 악취발생농도가 저감되는 것으로 나타남.

<피트 내 슬러리 주기적(3주 간격) 배출 시 돈사 내 악취(NH₃) 발생농도>

구분	악취(NH ₃) 발생농도(ppm) 및 저감율								저감율
	3주 간격으로 피트 내 슬러리 주기적 배출				출하 시까지 피트 내 슬러리 배출 없음				
	측정지점				측정지점 B				
	A	B	C	평균	A	B	C	평균	
1일차	6.0	6.0	8.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
3일차	8.0	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
8일차	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
11일차	6.0	5.0	7.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
14일차	7.0	5.0	7.0	6.0	7.0	8.0	8.0	8.0	
17일차	8.0	6.0	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	
21일차	8.0	6.0	8.0	7.0	8.0	9.0	10.0	9.0	
24일차	8.0	8.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	10.0	
27일차	7.0	8.0	7.0	7.0	7.0	11.0	10.0	9.0	
30일차	8.0	10.0	9.0	9.0	8.0	9.0	10.0	9.0	
33일차	8.0	9.0	10.0	9.0	9.0	8.0	10.0	9.0	
37일차	7.0	8.0	11.0	9.0	11.0	10.0	11.0	11.0	
40일차	8.0	9.0	11.0	9.0	13.0	11.0	12.0	12.0	
44일차	9.0	9.0	11.0	10.0	14.0	13.0	14.0	14.0	
47일차	8.0	8.0	10.0	9.0	15.0	12.0	12.0	13.0	
50일차	9.0	10.0	12.0	10.0	15.0	13.0	14.0	14.0	
55일차	9.0	10.0	11.0	10.0	14.0	14.0	13.0	14.0	
60일차	10.0	9.0	12.0	10.0	15.0	13.0	14.0	14.0	
평균	8.0	8.0	9.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0	17.0

주) 시험장소는 무창형 비육돈사, 100일령 전후 비육돈 입식, 악취측정방법은 간이 가스측정기(검지관식), 측정악취 종류는 NH₃, 악취측정기간 입식부터 출하 시까지(3일 간격)

(2) 주기적(3주 간격)으로 슬러리 배출시 악취(NH₃)발생농도 저감에 따른 농장 생산성/소득 분석

- 돈사 피트 내 슬러리를 출하 시까지 슬러리를 배출하지 않았을 경우와 주기적(3주 간격)으로 배출했을 경우와 의 악취발생농도는 각각 9.8ppm, 8.1ppm으로 슬러리를 주기적으로 배출했을 때 평균 17% 정도 악취발생농도가 저감되는 것으로 나타남.
- 악취발생농도가 1% 저감될 때 마다 사료요구율은 0.006씩 낮아지게 되므로, 위와 같이 슬러리를 주기적으로 배출하여 악취발생농도가 17%저감 될 때 사료요구율은 0.102가 낮아지는 것으로 나타남.

<주기적(3주 간격)으로 슬러리 배출시 악취(NH₃)발생농도 저감에 따른 사료요구율(FCR) 변화>

구분	출하 시까지 피트 내 슬러리 배출 없음	3주 간격으로 피트 내 슬러리 주기적 배출
돈사 내 평균 악취(NH ₃)발생 농도(ppm)	9.8	8.1
슬러리 배출 없을 시 대비 슬러리 주기적 배출 시 돈사 내 악취(NH ₃) 저감 비율	-	△ 17.0%
돈사 내 악취(NH ₃)발생농도 저감에 따른 사료요구율 변화	-	△ 0.102

자료: 한국축산경제연구원, 슬러리 신속제거 시 악취발생농도 변화 시험 결과 이용

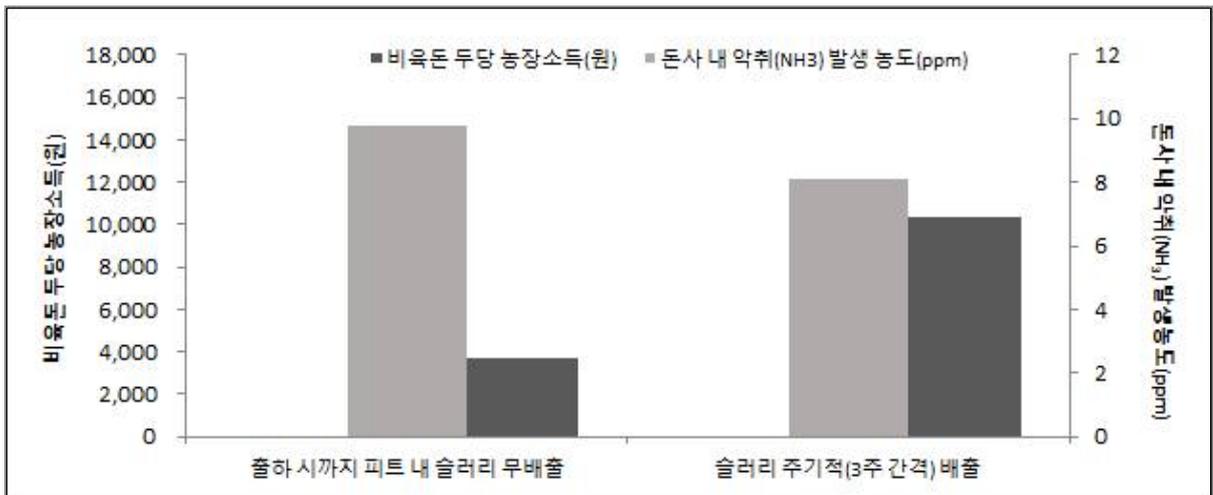
- 기존 사료요구율을 3.200으로 가정하여 개선 사료요구율을 계산하면 3.098 임.
- * 기존 사료요구율 : 출하 시까지 피트 내 슬러리를 배출하지 않은 경우의 사료요구율
 개선 사료요구율 : 출하 시까지 피트 내 슬러리를 3주 간격으로 배출했을 경우의 사료요구율
 2019년 한돈팜스 중위 농가들의 평균 사료요구율 3.200
 악취(NH₃)발생농도 1% 저감시 사료요구율 0.006 감소
- 기존 및 개선 사료요구율을 이용하여 비육돈 두당 사료비를 계산하면 기존 사료요구율 3.200 일 때 사료비는 208,614원이고, 개선 사료요구율 3.098 일 때 사료비는 201,965원으로 사료비가 약 3.2% 절감되는 것으로 나타남.
- 따라서 돈사 피트 내 슬러리를 주기적으로(3주 간격) 배출함으로써 악취발생농도가 9.8ppm에서 8.1ppm으로 17%가 저감 될 때 사료비는 3.2%가 절감되며, 이에 따라 비육돈 두당 농장소득은 6,649원 증가함.

<피트 내 슬러리 주기적(3주 간격) 배출 시 돈사 내 악취(NH₃) 발생농도에 따른 농장 생산성/소득>

구분	출하 시까지 피트 내 슬러리 배출 없음	피트 내 슬러리를 3주 간격으로 주기적 배출
돈사 내 악취(NH ₃) 농도(ppm) (저감율)	9.8	8.1 (17.0%)
사료요구율(FCR)	3.200	3.098
비육돈 두당 판매액(원)	386,493	386,493
비육돈 두당 사료비(원) (절감율)	208,614	201,965 (3.2%)
비육돈 두당 경영비(원)	382,779	376,130
비육돈 두당 농장소득(원)	3,714	10,363

주) 출하체중 116kg, 지육가격: 4,384원/kg, 지급률 76%, 사료비 562원/kg, 경영비 중 사료비가 차지하는 비중 54.5%.

비육돈 두당 경영비(사료비 제외)는 사료요구율 3.200(중위 농장)일 때 경영비(사료비 제외)를 일괄 적용함.



액비순환시스템 운영·관리 매뉴얼

□ 목차

구 성	주 요 내 용	비 고
< 제 1 장 >	(1) 양돈장 악취 관련 현황 소개 (2) 액비순환시스템 도입·운영·관리상 애로사항 제시	
< 제 2 장 >	(1) 액비순환시스템 정의 및 장·단점 소개 (2) 액비순환시스템 유형 소개 - 유형 분류 기준, 유형별 특징 등 소개 - 설치비용 및 적정운영 비용 제시 (3) 액비순환시스템 환경개선 효과 제시 (4) 액비순환시스템과 돼지 생산성·경제성과의 상관관계 제시	
< 제 3 장 >	(1) 액비순환시스템 도입 단계 주의사항, 고려사항 제시 - 액비순환시스템 도입 단계 주의사항 - 필요 폭기조 용량, 폭기장치별 특징, 고액분리장치별 특징 등 소개 (2) 운영·관리 요령 제시 - 계절별 순환액비 적정 기준, 고액분리 가동 시간, 폭기장비 운영 시간 등 - 운영·관리 점검표 (3) 우수사례 제시 - 우수사례, 기설치 농가 개선사례 등	

가. 제 1장

(1) 국내·외 양돈장 악취관리 현황

○ 최근 축산업의 전업화·기업화와 함께 가축 사육두수가 큰 폭으로 상승하며, 가축분뇨에 의한 악취 및 수질오염 등 축산환경 문제가 증가하고 있다. 또한, 국민들의 환경문제에 대한 인식이 날로 증가함에 따라 축산시설 관련 악취 민원이 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

○ 2005년 악취방지법 시행 이후, 환경부(2018)*에서 실시한 악취민원 실태조사에 따르면 축산시설 관련 악취 민원의 건수는 2013년 전체 악취 민원 13,103건 중 2,604건(19.9%)이었으나, 2017년 전체 악취 민원 22,851건 중 6,112건(26.7%)으로 2013년 대비 3,508건이 증가한 것으로 확인되었다. 이에 환경부에서는 축산시설에 의한 악취민원을 최소화하기 위해 ‘가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률’ 과 ‘악취방지법’의 관련 규제를 강화하는 추세이다.

* 1) Korea, Ministry of Environment, Research for establishing the 2nd comprehensive odor prevention policy, 2018.

○ 따라서, 앞으로는 축산에서 발생하는 악취를 저감하여야 지속가능한 축산업을 영위할 수 있을 것이다. 축산농가의 악취 발생의 주요 원인은 분뇨처리과정 및 퇴비화 공정이며 특히 양돈농가의 경우 분뇨슬러리 처리 과정에서 가장 많이 발생한다.* 이러한 문제점을 개선하기 위해 양돈장 악취잠재물질의 근원을 해결하고 생산성 향상 효과도 동반하는 액비순환시스템에 대한 관심이 높아지고 있다.

* 2) Korea, Ministry of Environment, A Study on the Odor Emission Characteristics and Reducing Measures in the Cow House, Poultry House, etc., 2004.

(2) 액비순환시스템 도입 · 운영 · 관리상 애로사항

- 현재 많은 양돈농가들이 액비순환시스템을 도입하기 위해 시도하고 있지만, 그 과정 속에서 각종 어려움을 겪고 있다.
- 국내 양돈농가들을 대상으로 조사한 결과 액비순환시스템 ‘도입 시’ 초기 투자비용, 적정용량, 필요한 장비 등에 대한 정보를 얻는데 어려움이 있었으며, 미생물 안정화, 적정 슬러리 배출량·순환량 등 ‘운영 및 관리’에 관한 정보를 얻는데 어려움이 있다는 것을 확인할 수 있었다.
- 또한, 국내 액비순환시스템 시공 업체들을 조사한 결과, 각 업체들에서도 액비순환시스템 도입 · 운영 · 관리에 관한 특정 매뉴얼이 없다는 것을 확인할 수 있었다.

<표 1>. 액비순환시스템 도입 및 운영 · 관리상 애로사항

도입 시	- (투자비용) 돈사 내 슬러리 피트 설치, 순환배관 설치, 폭기설비 구축, 액비저장시설 구축 등 초기 도입 시 고비용 발생
	- (적정 용량산정) 농가별 사육두수, 사육방식 등이 상이함에 따라 액비순환을 위한 적정용량 산정 등의 어려움 발생
	- (장비 정보) 폭기장치, 고액분리기, 순환배관 등 액비순환시스템을 운영하기 위한 장비에 대한 기초 정보 부족
운영 · 관리 시	- (미생물 안정화) 초기 미생물을 안정화시키고 유지하는데 많은 어려움 발생
	- (슬러리 배출량, 순환량) 순환액비 제조를 위해 적정 수준의 슬러리 배출량, 순환량(재유입량) 산정 등에 어려움 발생
	- (적정 폭기량 및 폭기기간) 순환액비 제조를 위한 적정 폭기량, 폭기기간 산정 등에 어려움 발생
	- (순환액비 기준) 원활한 운영을 위한 적정 순환액비 성분에 대한 기준이 전무(살포용 액비 기준과는 다른 개념으로 접근 필요)
	- (운영 관리) 액비순환시스템 운영 중 문제 발생 시 해결을 위한 별도의 지침, 방안 등의 부재

- 따라서, 본 매뉴얼 책자를 통해 액비순환시스템을 도입하고자 하는 양돈농가들에게 액비순환시스템에 대한 이해를 돕는 기초 자료로써 활용이 될 수 있기를 바란다.

나. 제 2 장

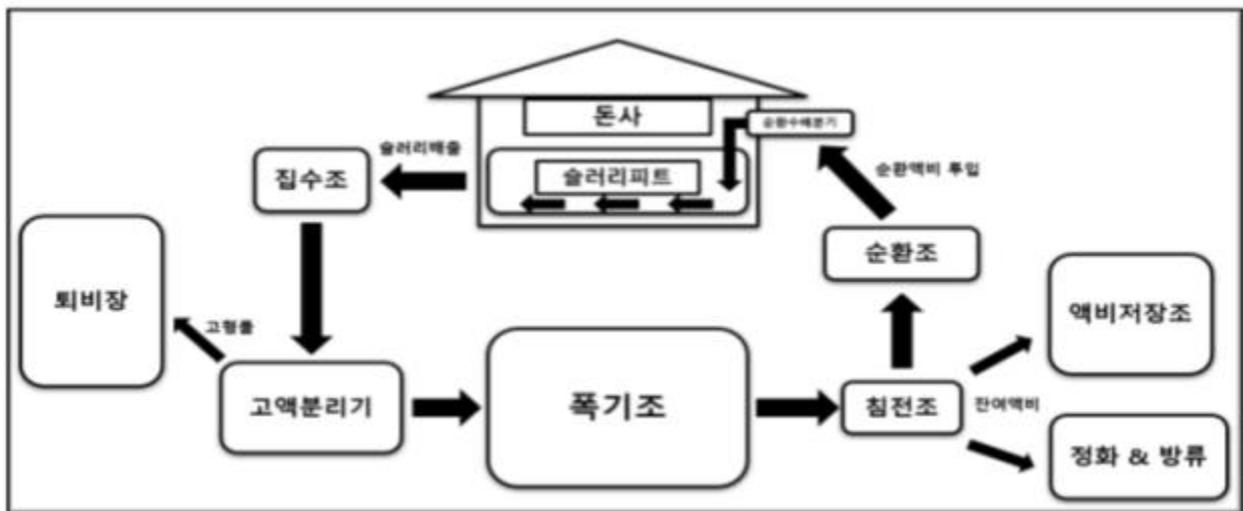
(1) 액비순환시스템 정의 및 장·단점 소개

(가) 액비순환시스템이란?

○ 액비순환시스템이란, 돈사에서 배출된 슬러리를 액비화시설을 통해 액비화하여 다시 돈사 내 피트로 주기적으로 순환시키는 것을 반복하는 시스템으로, 돈사내 악취저감, 내부 온·습도 유지 등의 효과를 통해 사육환경을 개선시켜주는 효과적인 시스템이다.*

* 3) Ha, D. M., Kim, D. H., The effect of liquid manure circulation system on the odor reduction of swine farm, Journal of Agriculture and Life Science, 49(4), pp. 57~64, 2015.

○ 액비순환시스템의 일반적인 공정 흐름은 다음과 같다.



○ 액비순환시스템의 공정별 개념 정리

- 슬러리피트 : 돼지의 분과 뇨가 섞여있는 액상 물질(슬러리)을 모아두는 돈사 내 공간, 피트 구성에 따라 통슬러리 피트(슬러리 피트 100%), 반슬러리 피트(슬러리 피트 50%, 평사 바닥 50%) 등으로 구분
- 집수조 : 유량 및 BOD, SS에 대한 농도 및 부하량을 일정하게 유지하는 조, 균등조 또는 유량조정조라고도 함, 일반적으로 1일 폐수발생량 평균치의 1.5배 정도 여유를 두어 용량을 계산하였다.
- 고액분리기 : 슬러리 내 입자가 큰 고형물들을 물리적·화학적으로 제거하여 분뇨처리 과정 중 과부하를 방지하고 처리효율을 높여주는 장비(벨트프레스, 데칸터, 스크린 등)
- 폭기조 : 하수처리나 수질관리에서 인위적으로 산소를 공급하는 저장조로서, 호기성 미생물의 활성화를 촉진을 통해 슬러리 내 유기물질 분해

- 무산소조 : 생물학적 질소 제거방법(탈질과정)으로 폐수를 처리하기 위해 무산소 상태로 만든 저장조
- 침전조 : 고형물입자를 침강시켜 제거하는 시설, 고체와 액체를 분리하기 위한 저장조
- 순환조 : 생산된 돈사 순환용 액비(이하 순환액비)를 돈사 내 슬러리피트로 공급하기전 보관하는 최종 저장조
- 순환수 배분기 : 각 돈사별로 적정량의 순환액비가 공급될 수 있도록 조절하는 장비

(나) 액비순환시스템의 장점 및 단점

○ 액비순환시스템의 가장 큰 장점으로서는 돈사내 슬러리 부패 방지에 의해 악취 및 유해가스 저감, 돈사 내 유해가스를 저감을 통한 사육환경 개선(폐사율 저감, 사육일수 감소 등) 및 농가 생산성 향상, 돈사 내부 온도 유지에 도움(30~35 ℃로 유지된 액비가 피트로 지속 유입), 퇴비화 시설 불필요 등이 있으며, 단점으로는 높은 초기 투자비용, 돈사 및 슬러리 소독제 사용 불가, 운영 및 관리 방법의 어려움, 농가별 적용 방식의 편차 등이 있다.*

* 4) Korea Environment Corporation, Odor management case by industry, 2016.

<표 2> 액비순환시스템의 장점 및 단점

장점	- 돈사 내 슬러리의 부패를 막아 악취 및 유해가스 저감
	- 돈사 내 유해가스를 저감시켜 사육환경 개선으로 농가 생산성 향상(폐사율 저감, 사육일수 감소 등)
	- 30~35℃로 유지된 액비가 피트로 유입되어 돈사 내부 온도 유지에 도움
	- 퇴비화 시설 불필요
단점	- 초기 투자비용이 많이 소요됨
	- 미생물 활용 처리방식이므로, 돈사 및 슬러리에 소독제 사용 불가
	- 운영 및 관리 방법 숙지에 어려움이 있음
	- 각 농가별 적용 방식에 편차가 있음

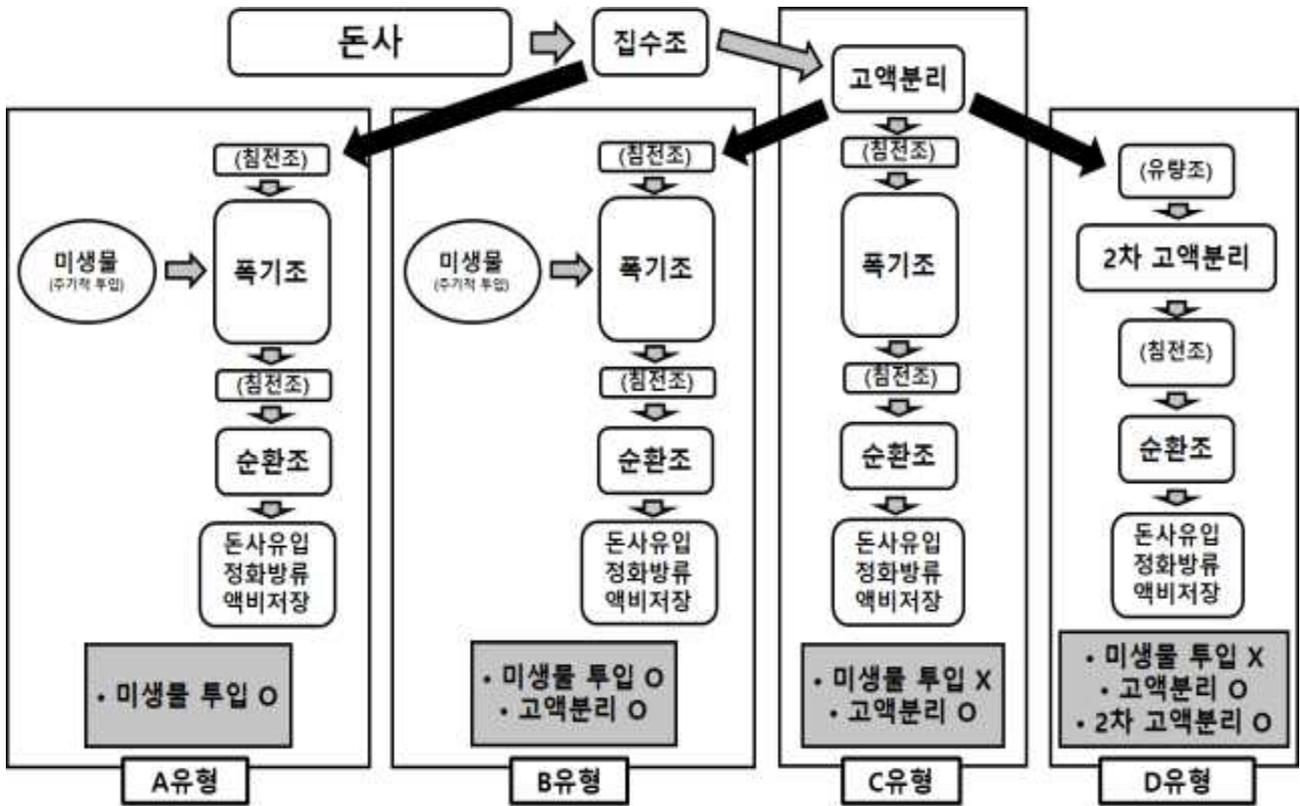
(2) 액비순환시스템의 유형 소개

(가) 액비순환시스템 유형 분류

○ 액비순환시스템은 공정과정 중 ① 미생물의 지속적인 투입 여부, ② 고액분리 여부에 따라 A, B, C 그리고 D 유형으로 분류할 수 있다.(그림 1 참조)

○ 각 유형별 특징과 장점 및 단점 등을 확인하여 자신의 농가 상황에 적합한 방식을 채택하여 액비순환시스템을 설치·운영하는 것이 바람직할 것이다.

* 액비순환시스템 주요 분류 기준 : ① 미생물 투입 여부(미생물 주기적 투입 or 초기 Seeding 후 토착미생물 활성화 활용 등), ② 고액분리 유무(미실시 or 1·2차 실시 등)



<그림 1> 액비순환시스템 유형별 특징

(나) A유형

- A유형의 경우, 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 별도의 고액분리 없이 폭기조로 이송하는 유형이며, 폭기조에는 미생물을 주기적으로 투입하여 발효가 원활하게 진행되도록 돕는 유형이다. 폭기 후에는 침전조를 거쳐 액비가 생산되고, 완성된 액비 중 일부는 순환조를 통해 돈사내부로 순환하고 나머지는 저장조에 저장 또는 정화 방류 처리하는 유형이다.
- 고액분리기 설치 및 운영에 소요되는 비용이 발생하지 않는다는 장점이 있지만, 주기적으로 미생물을 투입을 위해 미생물 구입비용이 발생한다는 단점이 있으며, 고액분리를 하지 않아 정교한 관리가 뒷받침되지 않는다면 과부하가 발생하여 액비순환에 어려움을 겪을 수 있다.

(다) B유형

- B유형의 경우, 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 고액분리 과정을 거친 후 액상분뇨를 폭기조로 이송하는 유형이며, 이때 폭기조에도 미생물을 주기적으로 투입하여 발효가 원활하게 진행되도록 돕는 유형이다. 폭기 후에는 침전조를 거쳐 액비가 생산되고, 완성된 액비 중 일부는 순환조를 통해 돈사내부로 순환하고 저장조에 저장 또는 정화 방류 처리하는 유형이다.
- 고액분리를 실시하고 미생물을 주기적으로 투입해주는 방식으로 액비순환 운영 시 과부하 방지와 미생물 성장 유지에 있어 비교적 관리가 용이하다는 장점이 있지만 고액분리기 설치 및 운영비용과 미생물 구입비용 등이 발생한다는 단점이 있다.

(라) C유형

○ C유형의 경우, 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 고액분리 과정을 거친 후 액상분뇨를 폭기조로 이송하는 유형이다. 이후에는 별도의 미생물 투입 과정 없이 침전조 과정을 거쳐 액비가 생산되고, 완성된 액비 중 일부는 순환조를 통해 돈사내부로 순환하고 저장조에 저장 또는 정화 방류 처리하는 유형이다.

- 고액분리기의 지속적인 운영으로 분뇨처리 시 과부하를 방지할 수 있다는 장점있지만, 고액분리기 설치 및 운영비용이 발생하며, 초기 Seeding 이후에는 미생물을 투입하지 않는다는 점에서 미생물 성장 유지에 어려움을 겪을 수 있다는 단점이 있다.

(마) D유형

○ D유형은 돈사에서 가축분뇨를 집수조로 배출하고 고액분리 과정을 거친 후, 액상분뇨를 유량조를 통해 추가적으로 2차 고액분리를 실시하는 유형이다.

- 폭기과정 이후 순환조 단계로 넘어가기 전에 고액분리를 2차적으로 실시해준다는 점에서 순환액비의 농도를 적절하게 유지해 줄 수 있다는 장점이 있다. 하지만 고액분리기 설치 및 유지 비용이 추가적으로 발생한다는 단점이 있다.

○ 액비순환시스템 설치 비용 및 운영비용(참고용)

<표 3> 유형별 액비순환시스템 설치 비용

구분	A유형	B유형	C유형	D유형
두수	비육 2500두	모돈, 자돈, 비육돈 5000두	모돈, 자돈, 비육돈 3000두	모돈, 비육돈 4500두
설치 용량	20톤	30톤	15톤	25톤
저장조 설치 공사	토목 : 110,000,000	토목 : 146,500,000	250,610,900원	219,775,400원
기계설치공 사	88,000,000원	137,800,000원	110,026,000원	412,224,600원
배관설치공 사			22,787,700원	
전기공사			11,100,000원	
기타공사			17,700,000원	
전력부하계 산서	-	-	1,054,790원	-
초기 미생물 비용	복합미생물 + 복합미생물 접종 4set = 16,494,708원	미생물배양기1 + 미생물1set (1000L)*8 = 7,900,000원	-	-
총 비용	198,000,000원	284,300,000원	405,820,000원	632,000,000원

* 농장 상황에 따라 사용되는 자입와 이에 따른 소요액에 차이가 크기 때문에 관련 자료는
참고 자료 활용하기를 권장

** 전력부하계산식 : 기본요금 + (전력사용량 합계 x 전력량 요금)
(단, 전기부하계산서의 기준은 1달(月)로 한다.)

○ A유형 기계 세부내역

공종	규격	단위	수량
폭기기	-	set	4
소포기기 및 복합스커박스	-	set	4
분배조 설치	-	set	1.8
인양장치 설치	-	set	2
맨홀뚜껑 설치	-	set	4
배전함 설치	-	set	1
자동펌프 설치	-	set	1
바이패스 설치	-	set	1

※ 현장상황 및 여건에 따라 기계세부 내역은 변경될 수 있음(참고용)

○ B유형 기계 세부내역

공종	규격	단위	수량
슬러지이송펌프	0.2m ³ /minx0.75kwx12mH	대	8
ROOTS BLOWER	25HP	대	3
B/H MOTOR	3HP	대	1
미생물 활성분리기	25m ³ /일	SET	1
AIR COMPRESSOR	7.5HP	대	1
이송펌프	5HP	대	3
이송펌프	3HP	대	3
청고압호스	65A	m	30
청고압호스	50A	m	70
카프링	65A	SET	7
카프링	50A	SET	10
기계실 비가림시설	3.5m*4m	식	1

※ 현장상황 및 여건에 따라 기계세부 내역은 변경될 수 있음(참고용)

○ C유형 기계 세부내역

공종	규격	단위	수량
시브스크린	10m ³ /hr, 9.5kw	식	1
데칸타(약주형)	3-4m ³ /hr 4.5kw	식	1
수중펌프	1.5HP*380V	SET	2
수중펌프	3HP*380V	SET	1
수중펌프	5HP*380V	SET	2
루츠브로와(방진스프링)	30HP*380V*18M3	SET	1
기계 설치비		식	1

※ 현장상황 및 여건에 따라 기계세부 내역은 변경될 수 있음(참고용)

○ D유형 기계 세부내역

공종	규격	단위	수량
TURBO BLOWER	150Ax20m ³ /minx22Kw	SET	1
유량펌프	50Ax0.16m ³ /minx0.75Kw	SET	1
소포펌프	50Ax0.16m ³ /minx0.75Kw	SET	1
소포펌프	50Ax0.2m ³ /minx1.5Kw	SET	1
방류펌프	50Ax0.16m ³ /minx0.75Kw	SET	1
순환펌프	50Ax0.2m ³ /minx2.2Kw	SET	3
펌프인양장치	STS304	SET	7
무산소조교반기	1.5Kw	SET	1
교반기인양장치	STS304	SET	1
침전조 감속기	0.16rpmx0.75Kw	SET	2
오니레이크설치	Φ3700mm	SET	1
분리막	0.4 μm	m ²	154
분리막 후레임	STS	SET	2
막세정조(STS)	600 x 1200 x 1500	식	1
막가드레일설치	STS	식	2
수동호이스트	0.5 TON	식	1
산기관	디스크형	EA	512
소포노즐		EA	10
OVER WEIR		식	2
CENTER WALL		식	2
V-NOTCH	STS	SET	1
유량계	Φ50m/m(전자식)	SET	1
협잡물처리기	10m ³ /hr	SET	1
기타잡자재		식	1
노무비	기계설치 인력	인	20

※ 현장상황 및 여건에 따라 기계세부 내역은 변경될 수 있음(참고용)

(3) 액비순환시스템 환경개선 효과

(가) 유형별 집수조 악취유발 물질 함유량 대비 암모니아 발생량



<그림 2> 액비순환시스템 유형별 암모니아 발생량

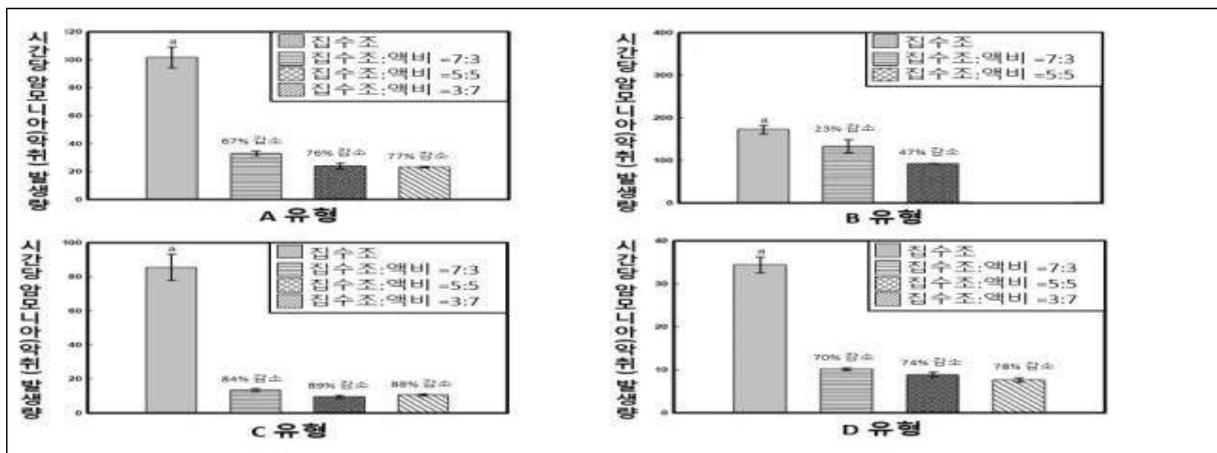
○ 위의 그래프의 경우 각 유형별 농장 집수조의 용존 잠재 악취 유발 물질 함유량에 대비하여 시간당 암모니아(악취)의 발생량을 보여준다.

* 각 유형 해당 농장이 다르기에 유형별 성능을 보여주는 지표는 아님

○ A 유형의 경우 악취유발 물질 배출 비율(시간당 암모니아(악취) 발생량/용존 잠재 악취 유발 물질×100)을 계산할 시 약 23%의 수치를 보여준다. B 유형의 경우 동일하게 계산할 시 약 10%, C 유형의 경우 약 15%이며 D 유형의 경우 약 18%의 수치를 보여준다.

○ 각 유형별로 보았을 때 용존 잠재 악취 유발 물질 대비 시간 당 암모니아(악취) 발생량의 경우 대략 10-23%의 비율을 보여준다.

2) 액비순환시스템의 악취저감 효과



<그림 3> 액비순환시스템 유형별 악취저감(암모니아) 효과

○ 위의 그래프를 통하여 A, B, C와 D 유형의 액비순환시스템 적용 시 암모니아(악취 유발 물질) 발생량의 저감 효과를 확인할 수 있다. 각 유형별을 관찰하였을 때 대체적으로 30% 정도만 희석하여도 충분히 효과적인 악취 유발 물질 저감 효과를 볼 수 있었다.

○ 위의 자료를 바탕으로, 유형별 30% 희석물의 용존 잠재 악취 유발 물질 대비 시간 당 암모니아(악취) 발생량과, 이를 기존 유형별 집수조 악취유발 물질 배출량과 비교할 경우 다음과 같다.

	A 유형	B 유형	C 유형	D 유형
기존	23 %	10 %	15 %	18 %
희석	5 %	5 %	6 %	12 %
	18 % 감소	5 % 감소	9 % 감소	6 % 감소

* 기존: 기존 용존 잠재 악취 유발 물질/시간 당 암모니아 (악취) 발생량×100

* 희석: 희석 용존 잠재 악취 유발 물질/시간 당 암모니아 (악취) 발생량×100

<그림 4> 액비순환시스템 유형별 암모니아 발생량 비교

○ 액비순환시스템은 희석 효과를 통한 악취 유발 물질(암모니아)의 발생량 감소는 물론 (그래프 참조), 미생물 활성화, 폭기 및 고액분리 등의 복합적인 방식을 통한 용존 잠재 악취 유발 물질 대비 시간 당 암모니아(악취) 발생량 또한 감소한 것을 볼 수 있다(표 참조).

○ 인근 지역 악취 유발의 주된 요인 중 하나의 암모니아의 발생량 저감에 큰 기여를 하는 액비순환시스템의 적용을 통하여 주변 민원 감소는 물론, 환경보호에 큰 도움을 주는 효과를 볼 수 있다.

(4) 액비순환시스템과 돼지 생산성·경제성과의 상관관계

(가) 액비순환시스템 돈사 악취(NH₃)발생농도 및 농장 생산성/소득 변화

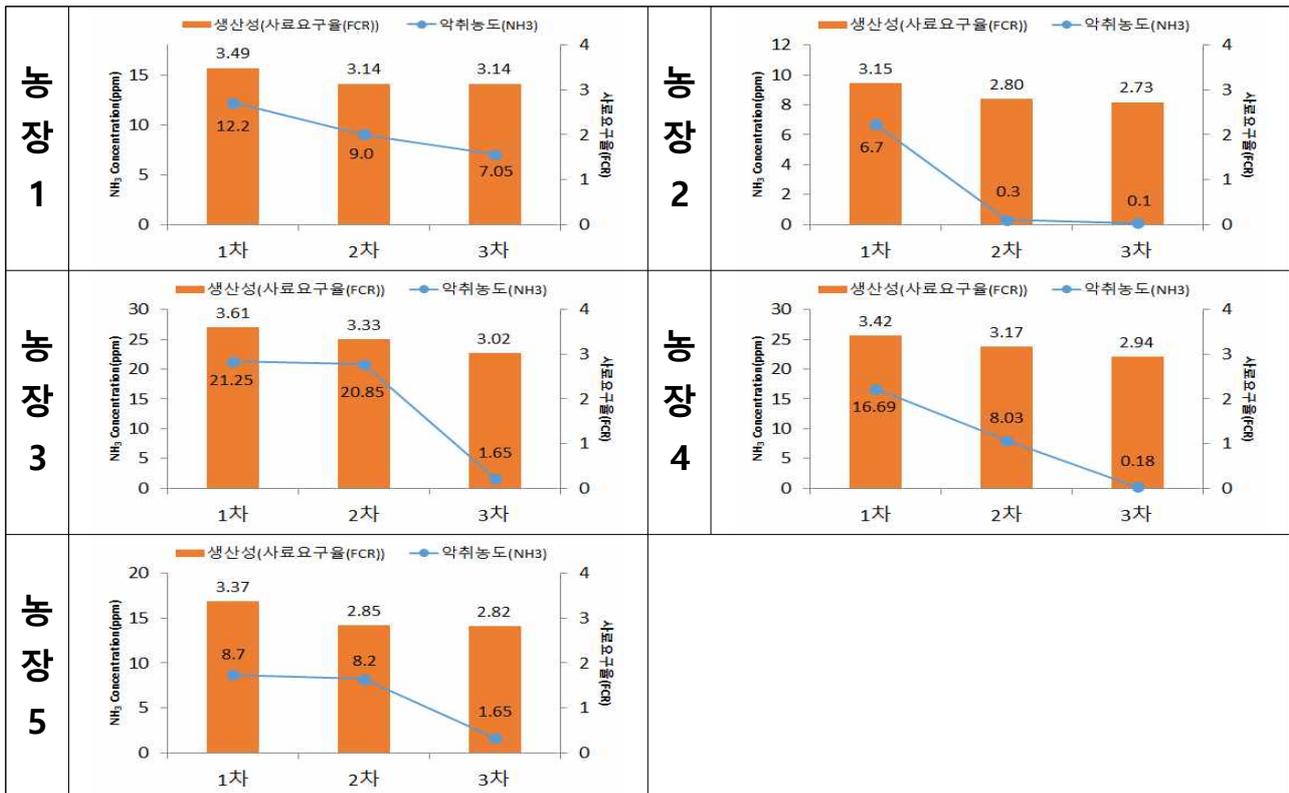
① 액비순환시스템 도입 농장의 돈사 악취(NH₃)발생농도 변화

○ 농장에서 액비순환시스템을 설치한 이후 발생하는 악취(NH₃)농도를 측정한 결과 각 농장별로 많게는 98.9%, 적게는 42.2%의 악취발생농도 저감율을 보였으며, 평균 82.6%의 저감율이 나타남.

○ 동 기간 동안에 농장별로 돈사 악취발생농도가 저감될 때 생산성(사료요구율)은 약 10~16%정도 향상되는 것으로 나타남.

○ 악취발생농도가 1% 저감 될 때마다 사료요구율(FCR)이 많게는 0.008, 적게는 0.004씩 낮아지며, 평균 0.006씩 낮아지는 것으로 나타남.

* 단, 돈사내부 및 배기구 악취(NH₃)발생농도 17±5ppm 범위 또는 돈사외부 악취발생농도 8±1ppm 범위에 속하고, 사료요구율이 3.400이상인 농장에 한해 악취발생 농도 저감에 따른 사료요구율 개선효과를 적용할 수 있음.



<그림 5> 액비순환시스템 도입농가 생산성 및 악취농도 변화

② 돈사 악취(NH3)발생농도 저감에 따른 농장 생산성/소득 변화

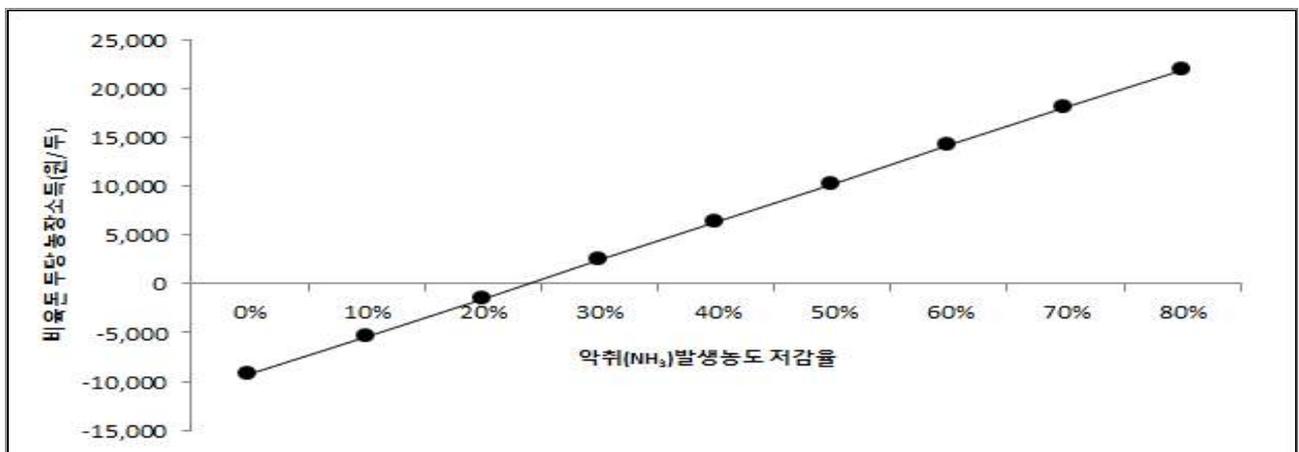
○ 돈사 악취발생농도 저감에 따른 농장소득의 변화를 분석해 보면 악취발생농도가 10%저감 될 때마다 사료요구율이 0.06씩 낮아지면서 사료비가 1.76% 절감되고, 이에 따라 비육돈 두당 농장소득은 3,910원씩 증가하는 것으로 나타남.

○ 위와 같이 돈사 악취발생농도 저감될수록 농장 생산성 및 소득이 개선되는 효과가 나타남.

<표 4> 돈사 악취(암모니아, NH₃)발생 농도 저감에 따른 농장생산성/ 소득변화

구분	악취(NH ₃)발생농도 저감율								
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
사료요구율	3.400	3.340	3.280	3.220	3.160	3.100	3.040	2.980	2.920
비육돈 두당 매출액(원)	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493
비육돈 두당 경영비(원) (사료비 포함)	395,817	391,905	387,994	384,082	380,171	376,259	372,348	368,436	364,525
비육돈 두당 경영비(원) (사료비 제외)	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164	174,164
비육돈 두당 사료비(원)	221,653	217,741	213,830	209,918	206,007	202,095	198,184	194,272	190,361
두당 사료비 절감 비율(%)	0	1.76	3.53	5.29	7.06	8.82	10.59	12.35	14.12
비육돈 두당 농장소득(원)	-9,324	-5,412	-1,501	2,411	6,322	10,234	14,145	18,057	21,968
악취발생농도 10% 저감 시 비육돈 두당 농장소득 증가액(원)	3,910								

주) 출하체중 116kg, 지육가격: 4,384원/kg, 지급률 76%, 사료비 562원/kg, 경영비 중 사료비가 차지하는 비중 54.5% 사료비를 제외한 비육돈 두당 경영비는 사료요구율이 3.2일 때 경영비를 기준으로 함.



(나) 액비순환시스템 유형별 악취(NH3)유발 물질 발생량 감소에 따른 농장 생산성/소득 변화

① 악취(NH3)유발 물질 발생량 감소에 따른 농장 생산성(사료요구율) 변화

- 액비순환시스템 환경개선 효과 시험결과(동국대)에 의하면 액비순환시스템 집수조 원수에 액비를 이용하여 30%정도만 희석하여도 효과적으로 악취(NH3)유발 물질을 감소시킬 수 있음.
- 액비 30% 희석 시 액비순환시스템 유형별 악취유발 물질 배출량 저감 비율은 A유형 18%, B유형 5%, C유형 9%, D유형 6%임.
- 악취(NH3)유발 물질 배출량이 1% 저감될 때 마다 사료요구율은 0.006씩 낮아지게 되므로 위와 같이 A~D유형별로 악취유발 물질 배출량이 저감 될 때 유형별 사료요구율은 A유형이 0.108 감소, B유형은 0.030 감소, C유형은 0.054 감소, D유형은 0.036이 감소되는 것으로 나타남.

<표 5> 액비순환시스템 유형별 악취물질 배출량 감소 및 농장 생산성 변화

구분	액비순환시스템			
	A유형	B유형	C유형	D유형
악취유발 물질 배출 비율 - 집수조	23%	10%	15%	18%
악취유발 물질 배출 비율 - 30%희석	5%	5%	6%	12%
악취유발 물질 배출량 감소 비율	△ 18%	△ 5%	△ 9%	△ 6%
악취물질 배출량 감소에 따른 사료요구율 변화	△ 0.108	△ 0.030	△ 0.054	△ 0.036

* 자료: 악취유발 물질 배출량 감소 비율 - 동국대, 액비순환시스템 환경개선 효과 시험 결과 활용

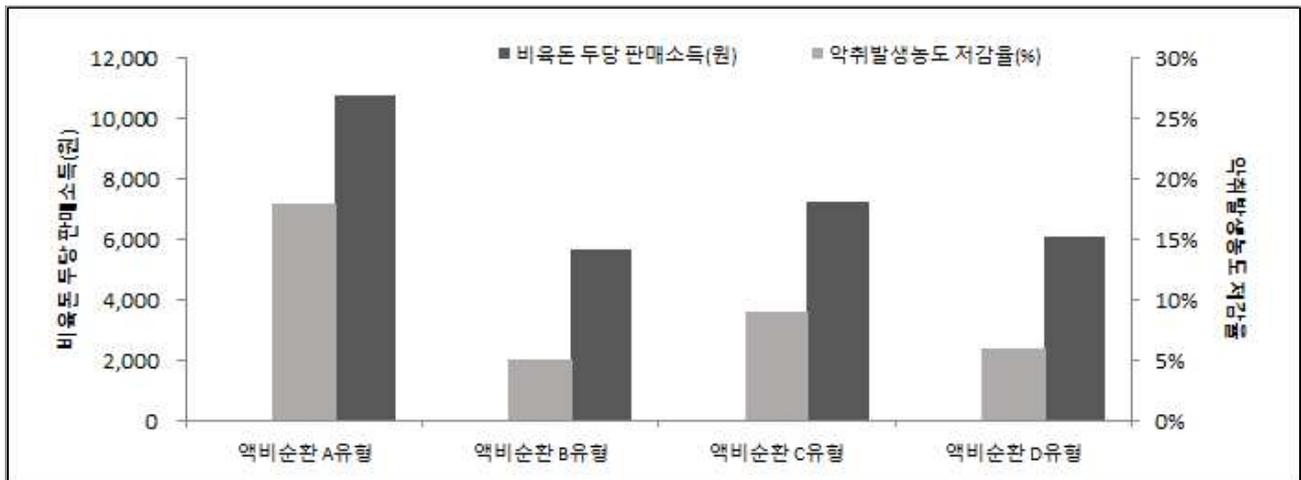
② 악취(NH3)유발 물질 발생량 감소에 따른 농장 생산성/소득 변화

- 액비순환시스템의 기존 사료요구율을 3.200으로 가정하여 희석 사료요구율을 계산하면 A유형은 3.092, B유형 3.170 C유형 3.146, D유형 3.164 임.
 - 기존 사료요구율 : 돈사 피트 내 슬러리가 집수조 원수인 경우의 사료요구율
 - 희석 사료요구율 : 돈사 피트 내 슬러리가 집수조 원수를 액비로 30% 희석한 경우의 사료요구율
 - 사료요구율 3.200 : 2019년 한돈팜스 중위 농장들의 평균 사료요구율
- 기존 및 희석 사료요구율을 이용하여 비육돈 두당 사료비를 계산하면 기존 사료요구율 (3.200)일 때 사료비는 208,614원이고, 희석 사료요구율 일 때 사료비는 유형별로 A유형은 201,574원, B유형은 206,659원, C유형은 205,094원, D유형은 206,267원으로 나타남.
- 악취유발 물질 발생량이 A~D유형별로 각각 18%, 5%, 9%, 6%가 저감 될 때 사료비는 각각 3.38%, 0.94%, 1.69%, 1.13%가 절감되며, 이에 따라 비육돈 두당 농장소득은 A유형 10,755원, B유형 5,670원, C유형 7,234, D유형 6,061원이 증가함.

<표 6> 액비순환시스템 유형별 악취물질 발생량 감소에 따른 농장 생산성/소득 변화

구분	액비순환시스템				
	집수조	30%희석 (집수조+액비)			
	공통	A유형	B유형	C유형	D유형
악취유발 물질 발생량 저감율	0%	18%	5%	9%	6%
사료요구율	3.200	3.092	3.170	3.146	3.164
비육돈 두당 판매액(원)	386,493	386,493	386,493	386,493	386,493
비육돈 두당 사료비 (원)	208,614	201,574	206,659	205,094	206,267
비육돈 두당 사료비 절감액 (원)(절감율)	-	7,041 (3.38%)	1,956 (0.94%)	3,520 (1.69%)	2,347 (1.13%)
비육돈 두당경영비 (원)	382,779	375,738	380,823	379,259	380,432
비육돈 두당 농장소득 (원)	3,714	10,755	5,670	7,234	6,061

주) 출하체중 116kg, 지육가격: 4,384원/kg, 지급률 76%, 사료비 562원/kg, 경영비 중 사료비가 차지하는 비중 54.5% 사료비를 제외한 비육돈 두당 경영비는 사료요구율이 3.2일 때 경영비를 기준으로 함.



다. 제 3 장

(1) 액비순환시스템 도입 시 고려사항

(가) 돈사 슬러리피트

○ 슬러리피트 용량

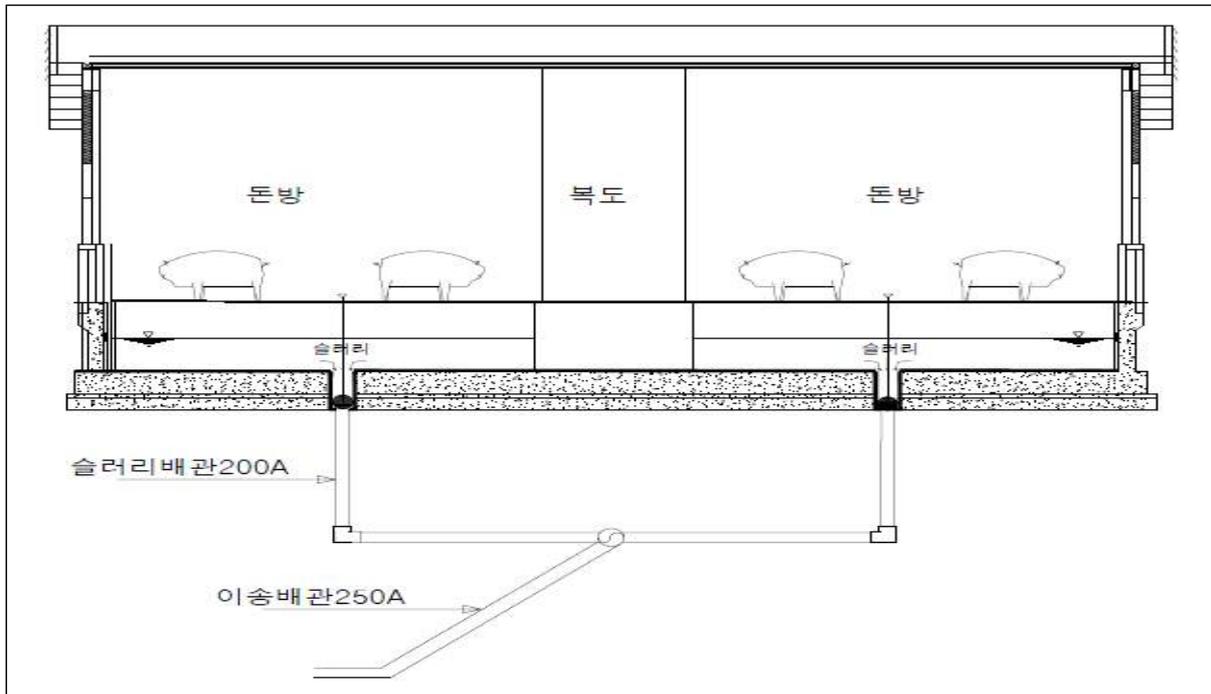
- 슬러리피트 용량 계산식

$$\text{돈사면적(m}^2\text{)} = \text{사육두수(두)} \times \text{사육밀도(m}^2\text{/두)}$$

$$\text{슬러리피트 용량(m}^3\text{)} = \text{돈사면적(m}^2\text{)} \times \text{슬러리피트 높이(m)}$$

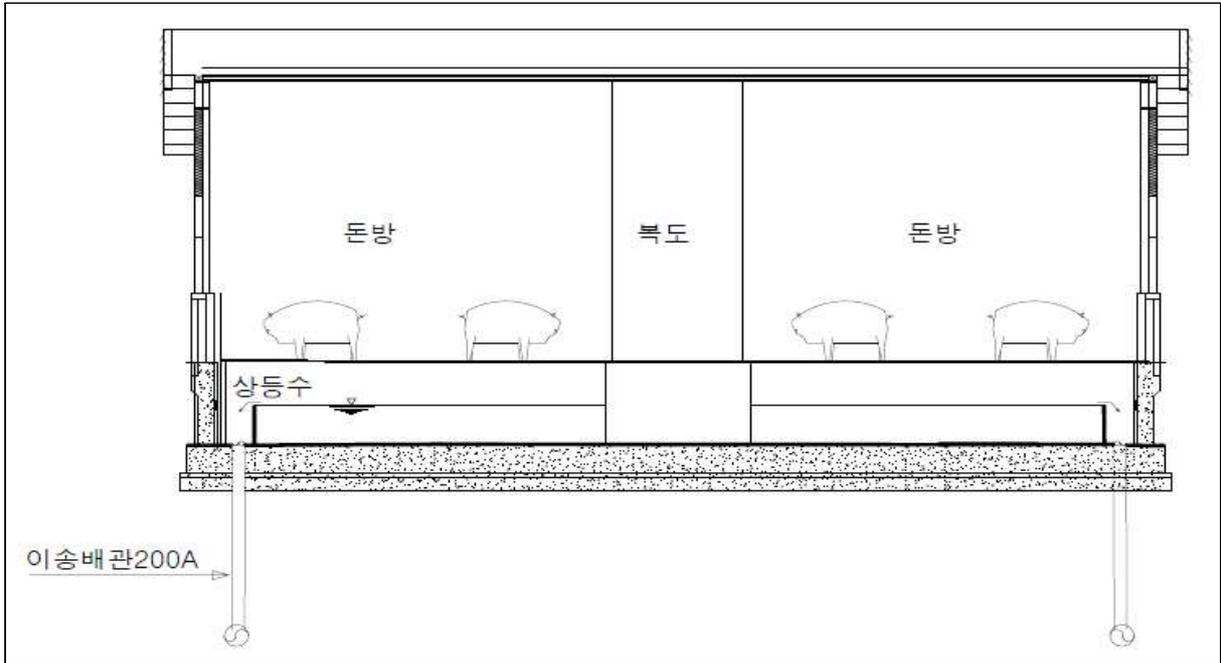
○ 분뇨배출방식

- 슬러리볼 배출방식 : 슬러리볼은 돈사의 슬러리를 저장 또는 배출하기 위해 슬러리피트 배출구의 구멍을 막아 놓는 둥근 형태의 장치를 말하며, 평상시 슬러리피트의 구멍을 슬러리볼로 폐쇄하여 분뇨를 저장하고, 슬러리 배출시 슬러리볼을 개방하여 분뇨를 배출하는 방식이 슬러리볼 배출방식이다.



<그림 6> 슬러리볼 배출방식 모식도

- 펌프 배출방식 : 슬러리피트에 배출구가 없거나 배출구가 고형물로 막혔을 경우 주로 이용하며, 슬러리피트에 액체 펌프를 설치하여 저장조로 배출하는 방식이다.
- 월류벽 배출방식 : 슬러리피트 내부에 월류벽을 설치하여 수위가 넘쳤을 때 월류벽에 설치된 배관을 통해 배출되도록 설계된 방식이다. 월류벽 방식은 슬러리피트의 수위를 일정하게 유지할 수 있게한다.



<그림 7> 월류벽 배출방식 모식도

(나) 집수조

○ 액비순환시스템의 슬러리피트는 30일(1달)의 주기로 모든 슬러리피트를 순차적으로 비우고, 액비를 주입한다. 예를 들어, 60개의 슬러리피트(60개의 돈방)을 보유한 돼지농장 있다면 하루 2개씩 슬러리피트를 전량 배출하고 액비를 채워넣는다. 따라서 집수조의 용량은 매일 배출되는 슬러리피트의 용량을 수용할 수 있는 크기여야한다.

- 집수조 용량 계산식

$$\text{집수조 용량(m}^3\text{)} = \text{돈사면적(m}^2\text{)} \times \text{슬러리피트 높이(m)} \div 30(\text{한달}) \times \alpha(\text{안전율})$$

* 유량조정조의 크기는 집수조와 동일하게 계산

(다) 침전조

○ 액비순환 시 슬러리피트의 분뇨는 넘쳐서(overflow) 침전조로 배출되며, 집수조의 슬러리도 고액분리된 여액이 침전조로 유입된다. 따라서, 침전조는 고액분리된 집수조 여액과 액비순환 시 배출되는 순환수(일일발생량의 10배)를 수용할 수 있는 크기여야한다.

※일일 돼지분뇨발생량 계산

<표 7> 돼지분뇨 배출원단위

구분	분	뇨	세정수	계
돼지 (L/두·일)	0.87	1.74	2.49	5.1

자료 : 환경부 2008

$$\text{일일 돼지분뇨발생량(L/일)} = \text{돼지 사육두수(두)} \times 5.1(\text{L/두·일})$$

- 1침전조 용량 계산식

* 일일분뇨발생량(L/일) : Q

$$[\text{계산식}] \text{ 침전조 용량(m}^3\text{)} = \text{일일분뇨발생량(Q)} \times 11 \times 3/24$$

- 2침전조 용량계산식

* 일일분뇨발생량(L/일) : Q

$$[\text{계산식}] \text{ 침전조 용량(m}^3\text{)} = \text{일일분뇨발생량(Q)} \times 3/24$$

(라) 고액분리기

○ 액비순환시스템에서 고액분리기의 설치 유무는 일부 액비순환공법에서 배제시키는 경우도 있으나, 대부분 고액분리공정이 포함되어 있다. 액비순환시스템에서 고액분리는 슬러리의 성상을 낮추는 것으로도 중요하지만, 슬러리피트를 비우는 과정에서 배출된 헝잡물을 걸러내는 역할을 하기 때문에 필요한 전처리공정이라 할 수 있다.

○ 고액분리기의 설치은 설계자의 구상에 맞게 효율과 경제성을 고려하여 선택 및 설치하는 것을 권장한다.

- 고액분리기별 물질성상 변화 요약표

<표 8> 고액분리별 물질성상 변화표

unit : %

항목	BOD	TS	SS	T-N	T-P	함수율
벨트프레스(약주)	66	79	97	41	91	76.4
스크류프레스(무약주)	4	15	9	3	10	66
데칸터(약주)	54	72	92	36	95	72
데칸터(무약주)	5	22	34	7	60	68
드럼스크린 +스크류프레스(무약주)	7	13	15	8	13	69
경사스크린 +스크류프레스(무약주)	10	15	11	10	21	74
진동스크린 +스크류프레스(무약주)	15	23	24	13	9	73.2

자료 : 대한한돈협회 2018

(마) 폭기조

○ 액비순환시스템은 액비 제조가 가장 중요하며, 미부숙·중숙 액비가 아닌 반드시 부숙 액비로 순환해야한다.

① 폭기조 용량

- 적정 폭기조 용량 계산식

$$\text{폭기조 용량(m}^3\text{)} = Q \times 30$$

- F/M비 기준 적정 폭기조 용량 계산식

- * 일일 분뇨발생량 : Q (m³/일)
- * F/M비 : 0.12 (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)
- * BOD : 22,000 mg/l (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)
- * MLSS : 8,000 mg/l (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)

[계산식] 폭기조 용량 = (BOD×Q)÷(F/M비×MLSS)

② 폭기량

- 폭기조 필요공기량 계산식

* 폭기조 용량 : V
 * 폭기조 단위 용량당 필요공기량 : 0.03 m³ air/min·m³
 (가축분뇨 자원화시설 표준설계도 기준)

[계산식] 폭기조 필요공기량 = 0.03m³ air/min·m³ × V

- 폭기조 산소요구량에 따른 공기공급량 계산식

BOD산화에 필요한 산소량(OD1) = 0.5 × BOD 제거량 × Q × 10⁻³
내생호흡에 필요한 산소량(OD2) = 0.1 × V × MLSS × 10⁻³
질산화에 필요한 산소량(OD3) = 4.6 × 암모니아 제거량 × Q × 10⁻³

폭기조 필요공기량(m³-air/min) = (OD1+OD2+OD3) × 22.4/32 × 100/21 × 100/10 ÷ 1440

- * V : 폭기조 용량
- * Q : 일일 분뇨발생량(L/일)

③ 산기장치

- 산기장치 계산방법

산기장치(개) = 공기공급량 ÷ a

- * a : 산기장치 산기량(m³/min)

(바) 액비저장조

- 액비저장조는 방류정화시설 전의 액비의 한시적 저장 또는 액비살포·반출 전의 장기적 저장으로 목적이 나뉜다. 방류정화시설 전 저장의 목적으로 설계할 경우 저장조의 크기가 클 필요는 없지만, 살포·반출 전 장기적 저장을 목적으로 설계할 경우 충분한 용량을 확보할 필요가 있다.
- ‘가축분뇨 자원화시설 표준설계도’의 호기액비화시설 세부구조 및 규격에 따르면 “축사내의 피트, 집수조, 호기액비화조, 액비저장조를 합하여, 처리일수 180일 이상”으로 권장하고 있다.

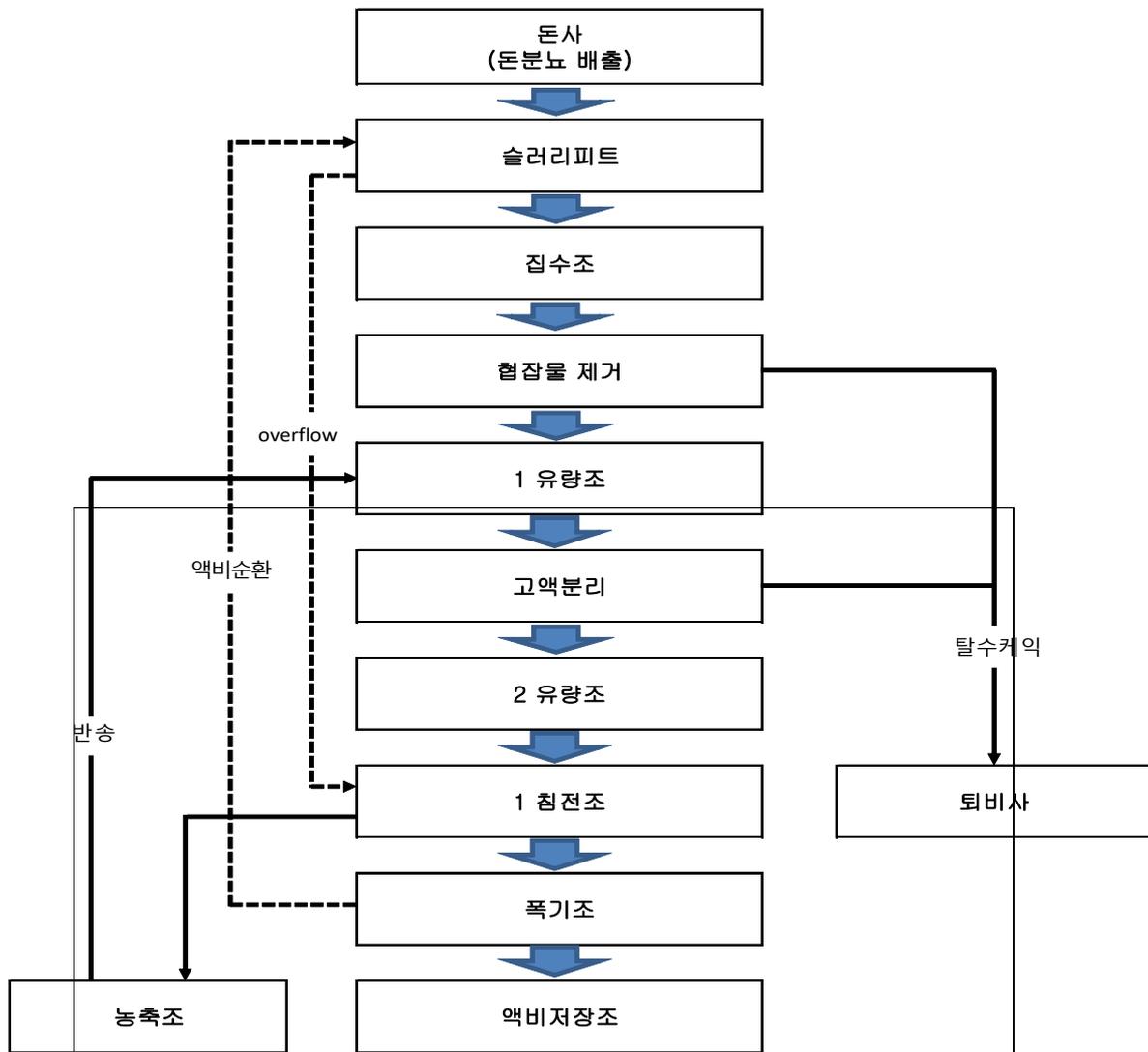
○ 액비저장조는 시설부지의 크기와 모양 및 정화 처리시설의 유무에 따라 유동적으로 설계하는 것을 권장한다.

- 방류정화 목적 액비저장조

$$* \text{액비저장조 용량} = \text{일일분뇨발생량(L/일)} \times 7\text{일}$$

- 살포·반출 목적 액비저장조

$$* \text{액비저장조 용량} = \text{일일분뇨발생량(m}^3\text{/일)} \times 180\text{일} - (\text{슬러리피트 용량} + \text{집수조 용량} + \text{유량조정조 용량} + \text{침전조 용량} + \text{폭기조 용량})(\text{m}^3)$$



<그림 8> 액비순환시스템 공정도

(2) 액비순환시스템 운영 · 관리 요령

(가) 유형에 따른 우수농가 순환액비 기준

○ 봄

- 액비성상

5월									
유형	구분	pH	부속도 (종자 발아법)	EC	BOD	SS	TN	NH4-N	TP
			발아지수 (GI)	ms/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
A	원수조	7.73	0.00%	12.15	-	-	970.00	674.00	-
	순환조	8.33	72.99%	8.62	-	-	-	78.46	-
B	원수조	-	-	-	-	-	-	2197.61	-
	순환조	-	-	-	-	-	-	410.50	-
C	원수조	8.08	52.55%	9.62	-	-	468.00	186.89	-
	순환조	7.79	74.45%	10.47	-	-	-	160.81	-
D	원수조	7.74	53.14%	8.72	-	-	374.00	225.95	-
	순환조	7.73	78.83%	8.04	-	-	-	69.83	-

- 환경조건

유형	날짜	시:분	기온	습도	해면기압
A	5월 7일	11:30	26.2	22	-
B	5월 6일	13:30	27.9	38	-
C	5월 12일	13:30	18.7	63	1005.3
D	5월 8일	11:30	22.5	21	-

○ 여름

- 액비성상

9월									
유형	구분	pH	부속도 (종자 발아법)	EC	BOD	SS	TN	NH4-N	TP
			발아지수 (GI)	ms/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
A	원수조	7.80	49.64%	7.99	514.50	1600.00	739.00	469.00	-
	순환조	8.13	61.31%	9.51	468.00	1120.00	-	194.50	-
B	원수조	7.79	0.00%	16.53	2730.00	4000.00	1730.00	1040.00	-
	순환조	8.50	37.71%	10.52	326.00	1850.00	-	610.50	-
C	원수조	7.82	31.34%	12.27	580.10	3933.30	623.00	359.00	-
	순환조	7.96	90.51%	10.00	420.00	9450.00	441.60	-	-
D	원수조	7.72	91.97%	7.91	403.80	2600.00	178.00	92.00	-
	순환조	8.12	86.13%	8.04	259.50	2220.00	96.60	18.00	-

- 환경조건

유형	날짜	시:분	기온	습도	해면기압
A	9월 1일	11:00	26.6	68	-
B	9월 3일	13:00	26.1	81	1002.5
C	9월 2일	11:00	25	93	1005.9
D	9월 2일	14:00	25.3	92	1002.7

○ 가을

- 액비성상

10월									
유형	구분	pH	부속도 (중자 발아법)	EC	BOD	SS	TN	NH4-N	TP
			발아지수 (GI)	ms/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
A	원수조	8.12	-	11.16	1300.50	1820.00	834.00	267.00	48.60
	순환조	7.69	90.51%	8.88	29995.00	3650.00	578.20	129.00	93.40
B	원수조	7.61	-	15.78	3656.20	4140.00	1064.50	756.20	174.00
	순환조	7.89	-	55.20	261.30	1140.00	671.40	129.00	248.50
C	원수조	7.61	103.65%	10.66	1679.50	16360.00	254.30	150.00	690.00
	순환조	7.89	81.75%	9.65	1157.00	12533.30	251.90	30.00	440.00
D	원수조	7.75	105.11%	8.16	2239.50	7166.70	144.30	106.00	276.00
	순환조	7.83	108.03%	7.99	1327.00	5833.30	163.90	31.50	180.00

- 환경조건

유형	날짜	시:분	기온	습도	해면기압
A	10월 19일	11:00	16.7	63	-
B	10월 28일	13:00	19.8	64	-
C	10월 20일	11:00	16.7	71	-
D	10월 20일	14:00	21.4	57	-

○ 겨울

- 액비성상

2월									
유형	구분	pH	부속도 (중자 발아법)	EC	BOD	SS	TN	NH4-N	TP
			발아자수 (GI)	ms/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
A	원수조	7.66	-	-	-	-	-	2232.26	-
	순환조	7.48	-	-	-	-	-	277.09	-
B	원수조	7.23	10.00%	24.70	3600.00	37450.00	3926.37	3519.00	865.55
	순환조	7.95	14.90%	10.59	626.00	1224.00	466.18	250.24	32.69
C	원수조	-	-	-	-	-	-	-	-
	순환조	-	-	-	-	-	-	1213.80	-
D	원수조	7.57	71.30%	9.15	3125.00	18430.00	1017.79	825.59	677.69
	순환조	7.97	74.50%	8.82	675.00	6545.00	560.08	461.98	278.26

- 환경조건

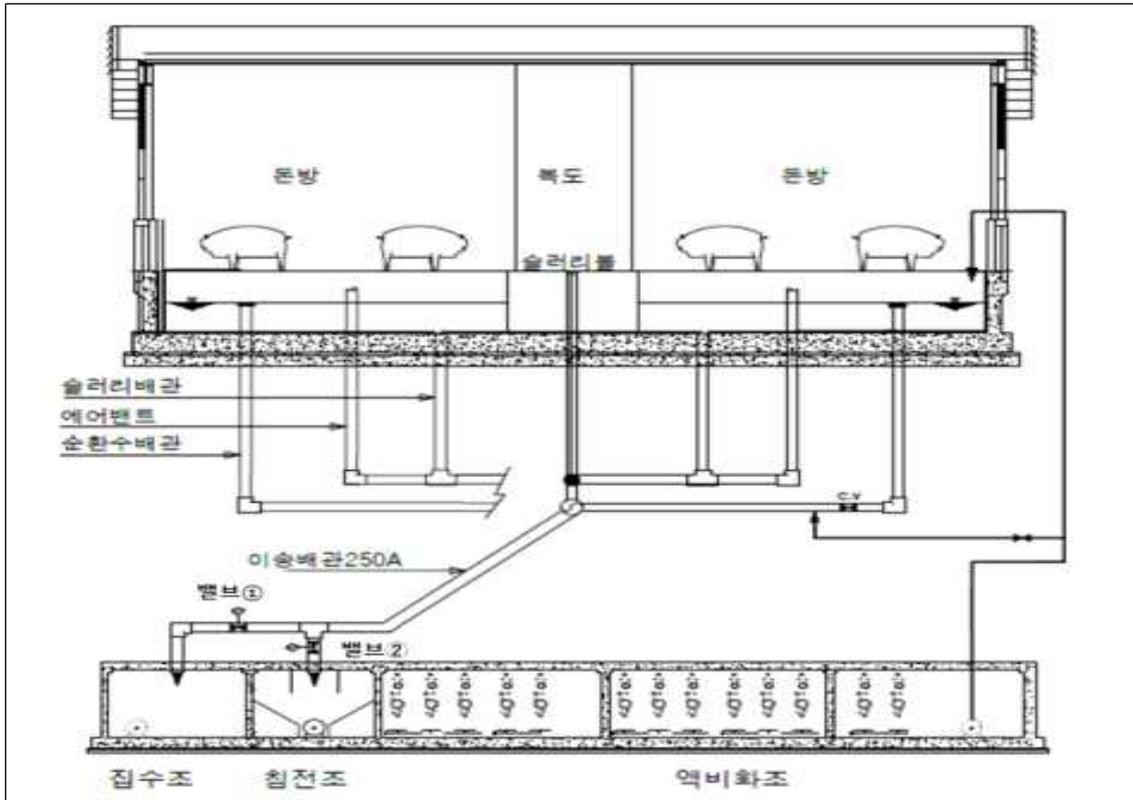
유형	날짜	시:분	기온	습도	해면기압
A	2월 17일	14:00	-0.4	8	-
B	3월 2일	13:00	6.4	61	-
C	2월 19일	13:00	6.4	56	1029.3
D	2월 24일	14:00	6.5	62	

* 액비순환시스템 우수농가 액비 성분 분석(분석기관 : 동국대, FITI, 실용화재단)

(나) 액비순환시스템 단계별 운영 관리 주의사항

① 액비순환시스템 단계별 운영 · 관리 요령

○ 슬러리 돈사의 배출방법



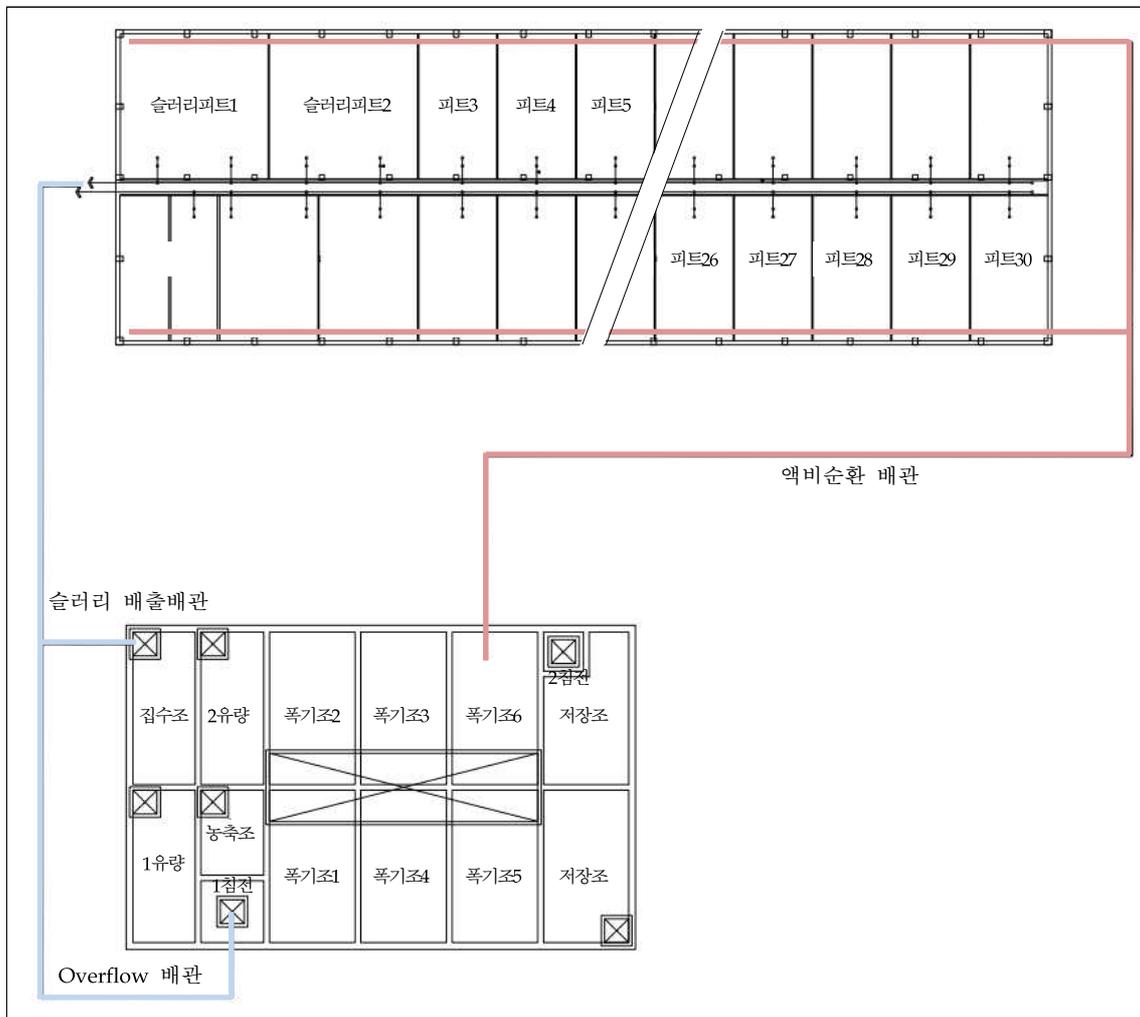
<그림 9> 액비순환시설 분뇨배출 배관

- 액비순환은 하루 중 액비순환을 하지 않는 비순환기와 액비순환이 진행되는 순환기로 나누며, 돈사의 슬러리피트는 항상 냄새가 나지않는 **부숙액비로 채움.**
- 순환기와 비순환기에 분뇨가 배출되는 저장조를 각각 다르게 두고 액비화 처리를 진행하는데, 비순환기에는 돼지가 배설하여 overflow되는 분뇨를 순환수배관을 통해 침전조로 보내고, 순환기에는 슬러리 볼을 열어 슬러리배관을 통해 피트 내의 모든 분뇨를 집수조로 보냄.
- 슬러리 배관을 통해 배출된 분뇨는 혐잡물 제거 전처리와 고액분리공정 이후 침전조로 유입시키며, 침전조에 유입된 분뇨들은 폭기조로 overflow 됨.
- 액비는 모든 돈사에 매일1회씩 순환하고, 돈사 슬러리 피트의 all-out/all-in은 모든 돈사에 매달1회 진행함. 이때, 그날그날 어떤 돈사의 슬러리피트를 all-out/all-in 할지는 액비순환 운전자가 판단하도록 함.

- 슬러리 돈사 배출방법에 대한 순서

- ㉠ 액비 비순환기, 밸브1을 닫고, 밸브2를 개방
- ㉡ 슬러리피트의 overflow된 분뇨가 순환수배관을 통해 침전조 내통으로 배출
- ㉢ 액비 순환기, 밸브1을 개방, 밸브2를 닫음
- ㉣ 액비순환 운전자가 원하는 돈사의 슬러리볼을 개방
- ㉤ 슬러리피트 내의 분뇨가 슬러리배관을 통해 집수조로 배출
- ㉥ 배출이 끝난 후 슬러리볼을 닫고, 밸브1을 닫고, 밸브2를 열어 슬러리피트에 액비를 공급함.

○ 돈사의 액비 공급방법



<그림 10> 액비순환시설 액비공급 배관

- 슬러리피트에 액비를 공급하기 전에 슬러리피트 내의 분뇨를 all-out 시키는 작업을 먼저 진행하도록 함.

- 액비의 공급은 액비저장조의 펌프를 통해 주입되며, 어떤 돈사로 보낼지는 돈사와 연결된 밸브를 통해 조절함. 이때, 슬러리피트를 all-out시킨 돈사의 경우 슬러리 피트가 액비로 가득 채워질 때까지 액비를 공급함.
- 만약 오늘 1개 돈방의 슬러리피트를 all-out 시켰다고 가정시,
 - ㉠ 슬러리배출이 완료
 - ㉡ 액비공급을 시작
 - ㉢ all-out시킨 1개 돈방이 가득 채워질 때까지 액비를 주입
 - ㉣ 액비가 가득차면 다음 슬러리피트에 액비주입(10Q)
 - ㉤ 액비를 주입(이때, 주입된 액비로 인해 overflow된 분뇨는 침전조로 배출)

○ 슬러리피트 운영

- 슬러리피트 높이는 0.4m를 권장한다.
- 슬러리피트 ‘all in - all out’ (1달 주기) : 액비순환시스템에서 슬러리피트 ‘all in - all out’ 을 하는 이유는 슬러리피트의 사각지대를 최대한 배제시키기 위함이다. 분뇨가 차있는 슬러리피트 액비를 주입하더라도 액비가 입출되는 방향을 제외한 사각지대가 생기기 마련이다. 단순 분뇨를 저장하는 슬러리피트는 표면에 스크럼층이 형성되어 악취가 올라오지 못하고 해충알이 부화하지 못하지만, 이러한 액비순환의 사각지대는 오히려 여름철 악취와 병충해 피해를 더 유발시킬 수 있다. 따라서 한달을 주기로 순환하는 모든 슬러리피트를 비워주어 액비순환의 사각지대를 최대한 없애는 것을 권장한다.

○ 집수조 운영

- 슬러리 배출은 오전시간에 하는 것을 권장. 액비순환은 슬러리배출의 과정이 선행되어야한다. 집수조의 슬러지를 고액분리(협잡물제거) 시간과 액비를 순환하는 시간을 고려하였을 때, 고액분리(협잡물 제거) 시간은 오전 6시간 이내에 이루어져야하며, 오후에서 퇴근시간 전까지 액비순환을 완료하는 것을 권장한다.
- 교반장치를 설치 : 고액분리기(시브스크린)을 가동하여 협잡물 제거 시, 교반기를 가동하여 침지물이 가라앉지 않고 균일한 농도의 슬러리가 처리될수 있도록 하는 것을 권장한다.

○ 침전조 운영

- 침전조 하부에 모이는 침전물은 분뇨발생량의 대략 20%에 해당하는 양이며, 집수조 또는 유량조정조로 반송하여 재차 고액분리하는 것이 좋다. 이때, 이송펌프는 타이머 기능이 있는 펌프를 사용하는 것을 권장한다. 일반펌프로 침전물을 한번에 이송하면, 흡입된 침전물의 빈 공간을 따라 상등수가 함께 유입되며, 이로인해 예상한 반송량 보다 많은 양의 침전물을 반송해야하거나 침전물이 제대로 반송되지 않는 경우가 발생한다. 그러므로 타이머 기능이 있는 펌프를 이용하여 여러번 나누어서 반송을 진행하는 것을 권장한다.

○ 폭기조 운영

- 선입선출 구조 : 폭기조는 먼저 유입(선입) 된 액비가 먼저 나갈(선출) 수 있도록 4단 이상의 폭기조로 나누는 칸막이를 설치하는 것을 권장한다.
- 여름철 액비순환 : 대기 온도가 지나치게 높은 여름철에 액비의 온도가 40℃ 이상으로 높아지면 순환량을 늘리는 것을 권장한다. 슬러리피트 내의 액비의 온도가 상대적으로 낮기 때문에 액비화조의 온도를 낮출 수 있다.
- 브로워 선택

폭기조 용량계산 → 공기공급량 계산 → 브로워 선택 → 산기관 선택

앞서 제시한 계산법대로 폭기조의 용량을 계산하고, 필요공기공급량을 계산하였다면, 이를 바탕으로 브로워를 선택해야한다. 그러나 브로워 선정에 있어서 간과하고 지나칠 수 있는 부분이 압력손실을 고려하지 않고 선택하는 것이다. 이는 실질적인 공기공급 효율을 감소시킬 수 있다. 따라서 브로워를 선택할 때, 폭기조의 깊이 4m의 압력손실 4,000mmAq와 배관의 곡관압력손실을 고려해야한다.

- 브로워 A

장비명	Speed (rpm)	Suction air volume Qs (m ³ /min)					
		0.1kg/cm ² (9.8kPa)	0.2kg/cm ² (29.4kPa)	0.3kg/cm ² (29.4kPa)	0.4kg/cm ² (39.2kPa)	0.5kg/cm ² (49.0kPa)	0.6kg/cm ² (58.8kPa)
A	1,240	1.46	1.26	1.12	0.99	0.86	0.72
	1,450	1.79	1.58	1.42	1.27	1.12	1.00
	1,750	2.25	2.03	1.87	1.72	1.57	1.45
	2,100	2.84	2.58	2.40	2.23	2.05	1.91

※ kg/cm² = 10,000mmAq

위의 표에서 브로워A의 올바른 제원을 선택할 때, 수심 4m의 압력손실이 0.4kg/cm²와 곡관압력손실 0.1kg/cm²를 고려하여, 0.5kg/cm²의 열에서 알맞은 공기공급량의 제원을 선택한다.

- 산기관 선택 : 산기관은 산소전달 효율과 내구성을 고려하여 선택하는 것이 좋다. 산소효율만을 고려하여 지름이 큰 멤브레인 필터를 선택하게 되면, 멤브레인 필터의 탄력이 감소하고 울퉁불퉁해지는 등 모양이 변하여 오히려 산소전달효율이 떨어지게 된다. 따라서 산소전달효율과 내구성을 동시에 고려하여 설치하는 것을 권장한다. 또한 산기관끼리의 간격이 멀어지면, 산기관 사이에 사각지대가 생겨 슬러지가 가라앉게 된다, 따라서 산기관 사이의 간격을 1m 이내로 설치하는 것을 권장한다.

(다) 액비순환시스템 운전 및 점검 항목(일일 점검표)

점검일 : 20 . . .

점검자 :

단계	점검 내용	점검 결과	미흡시 조치사항
슬러리피트	슬러리피트의 여유공간(15~30cm)은 적정하게 유지되고 있는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	순환액비 투입량을 줄여 적정 공간 확보
집수조	집수조가 넘치지 않게 적정하게 유지되고 있는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	슬러리 배출량을 줄여 적정 공간 확보
	배출 슬러리의 농도는 적정한가? (분해되지 않은 분뇨상태와 가까울수록 고농도)	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	농도가 진할 경우: 순환액비 투입량 및 폭기량 점진적 증가 (급격한 증가는 오히려 역효과 발생할 수 있으니 주의 필요)
고액분리	고형물 분리가 적정하게 이루어지고 있는가?(큰 입자의 고형물이 적절하게 분리 배출되었는가?)	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	장비 세척 또는 수리
폭기조	폭기중인 슬러리의 온도(30~40℃)가 적정하게 유지되고 있는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	순환량 늘리기
	폭기중인 액비의 거품 발생량이 적정하게 유지되고 있는가? (거품이 끈적거리거나 과다하게 발생하는 경우 고농도의 슬러리 투입 또는 미생물 성장 변화 의심)	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	거품이 끈적거리거나 과다하게 발생하는 경우 슬러리 투입량을 줄이거나 미생물을 투입 (폭기조 내 미생물 균형 원상복구 필요) +폭기장치 산기장치 소포기 점검
	폭기조 내에서 균등하게 폭기가 실시되고 있는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	폭기장치, 산기장치 점검
	폭기장치의 가동상태, 폭기량 등에는 문제가 없는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	장비 수리 또는 교체
	산기장치 산기관 막힘 현상은 없는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	장비 수리 또는 교체
순환조	배관 막힘 현상은 없는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	부품교체
	순환액비에서의 악취 발생은 없는가?(악취가 심하다면 부속이 적절히 이루어지지 않았음을 의미)	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	이전 과정 단계별 점검
	순환액비의 농도는 적정한가? (완전 부숙 액비 상태와 유사해야 함)	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	이전 과정 단계별 점검
순환수 분배기	배관 막힘 현상은 없는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	부품교체
	각 돈방별 적정량의 순환액비가 유입되도록 유지되고 있는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	분배기 조절
	배관 막힘 현상은 없는가?	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡	부품교체

액비순환 설계 예시

○ 일일발생분뇨 20톤 규모

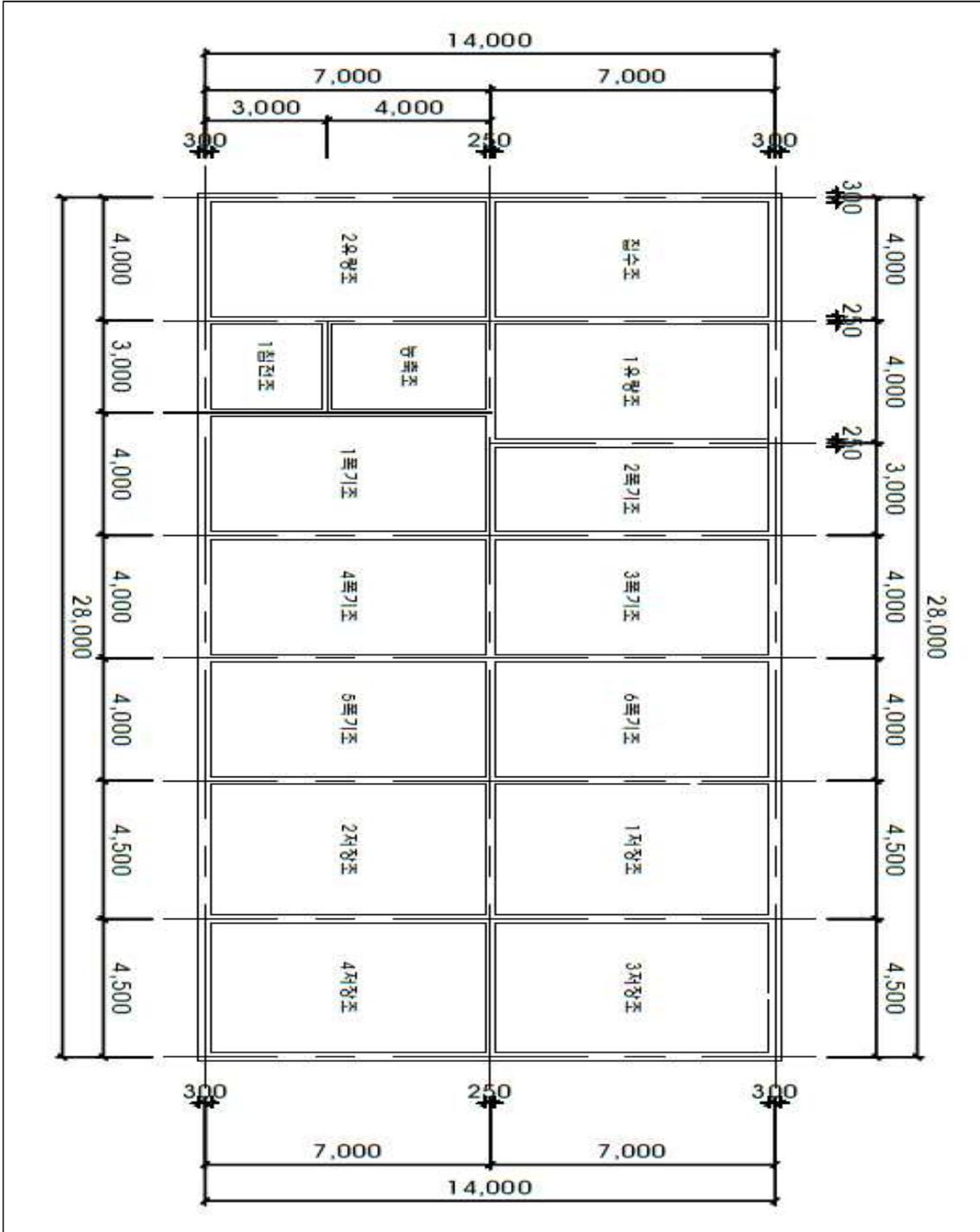
- 설치조건

돈사면적	5,460m ²
슬러리피트 높이	0.4m
사육두수	3,900두
일일발생분뇨량	20m ³ /d

- 액비순환 용량계산

- 집수조용량	$5,460 \times 0.4 \div 30 \times 1.4$	= 102m ³
- 1침전조	$20 \times 11 \times 3/24$	= 27.5m ³
- 폭기조	20×30	= 600m ³
- 액비저장조	$20 \times 180 - (2,184+102+102+102+27.5+3.3+600)$	= 479.5m ³
- 공기공급량①	0.03×600	= 18m ³ /min
- 공기공급량②	$0.5 \times (1,640-640) \times 20 \times 10^{-3}$	= 10kgO ₂ /d
OD1	$0.1 \times 600 \times 8,000 \times 10^{-3}$	= 480kgO ₂ /d
OD2	$4.6 \times (400-170) \times 20 \times 10^{-3}$	= 21.2kgO ₂ /d
OD3	$(10+480+21.2) \times 22.4/32 \times 100/21 \times 100/10 \div 1,440$	= 11.8m ³ /min
- 산기장치	$18 \div 0.1 \sim 0.2$	= 90~180개

- 처리시설 평면도(예시)



<그림 11> 처리시설 평면도(예시 * W14,000 × D28,000 × H4,000)

○ 일일발생분뇨 30톤 규모

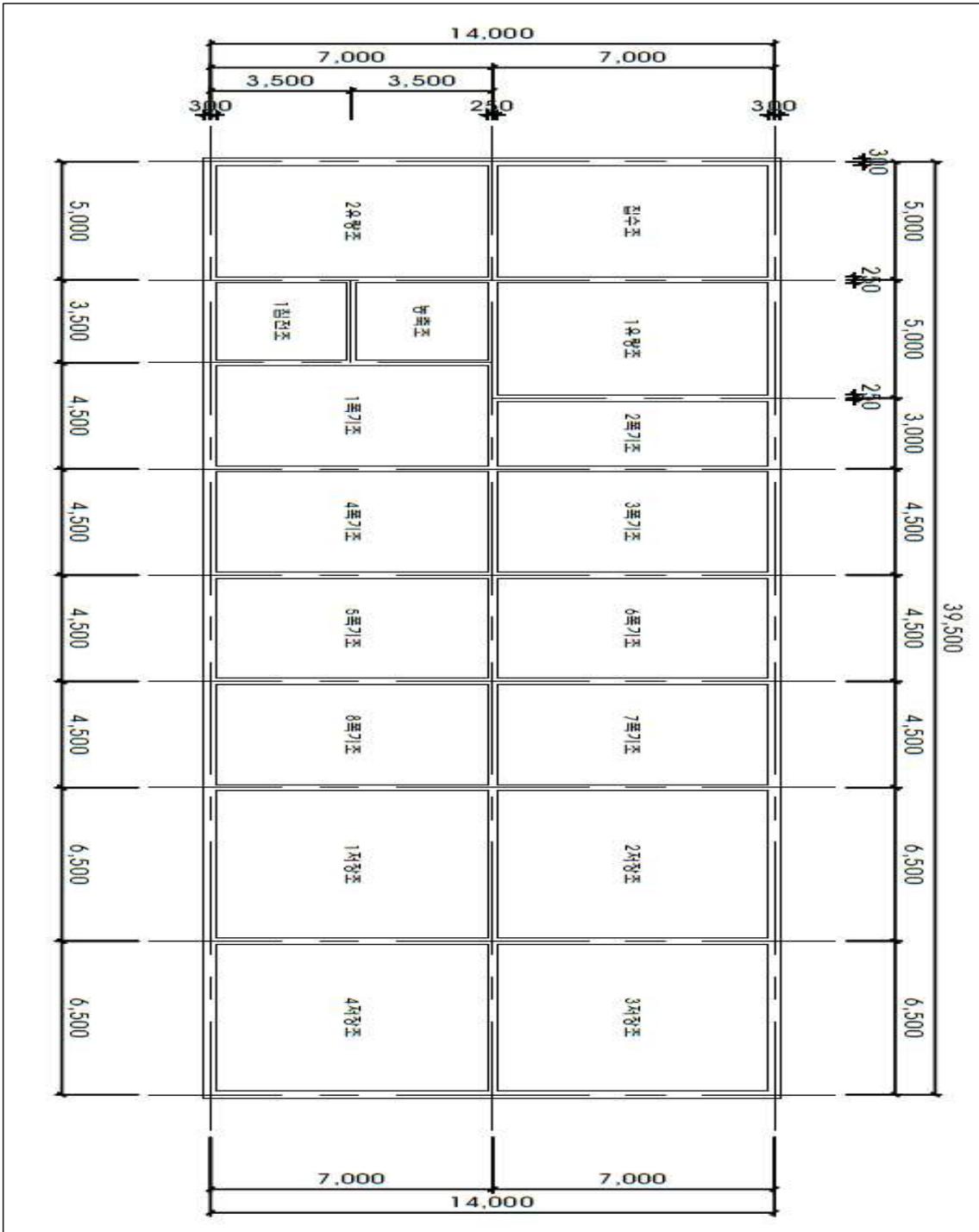
- 설치조건

돈사면적	8,260m ²
슬러리피트 높이	0.4m
사육두수	5,900두
일일발생분뇨량	30m ³ /d

- 액비순환 용량계산

- 집수조용량	$8,260 \times 0.4 \div 30 \times 1.4$	= 155 m ³
- 1침전조	$30 \times 11 \times 3/24$	= 41.3 m ³
- 2침전조	$30 \times 4/24$	= 5 m ³
- 폭기조	30×30	= 900 m ³
- 액비저장조	$30 \times 180 - (3,304+155+155+155+41.3+5+900)$	= 684.7 m ³
- 공기공급량①	0.03×900	= 27 m ³ /min
- 공기공급량②		
OD1	$0.5 \times (1,640-640) \times 30 \times 10^{-3}$	= 15kgO ₂ /d
OD2	$0.1 \times 900 \times 8,000 \times 10^{-3}$	= 720kgO ₂ /d
OD3	$4.6 \times (400-170) \times 30 \times 10^{-3}$	= 31.7kgO ₂ /d
	$(15+720+31.7) \times 22.4/32 \times 100/21 \times 100/10 \div 1,440$	= 17.7 m ³ /min
- 산기장치	$27 \div 0.1 \sim 0.2$	= 135~270개

- 처리시설 평면도(예시)



<그림 12> 처리시설 평면도(예시 * W14,000 × D39,500 × H4,000)

○ 일일발생분뇨 40톤 규모

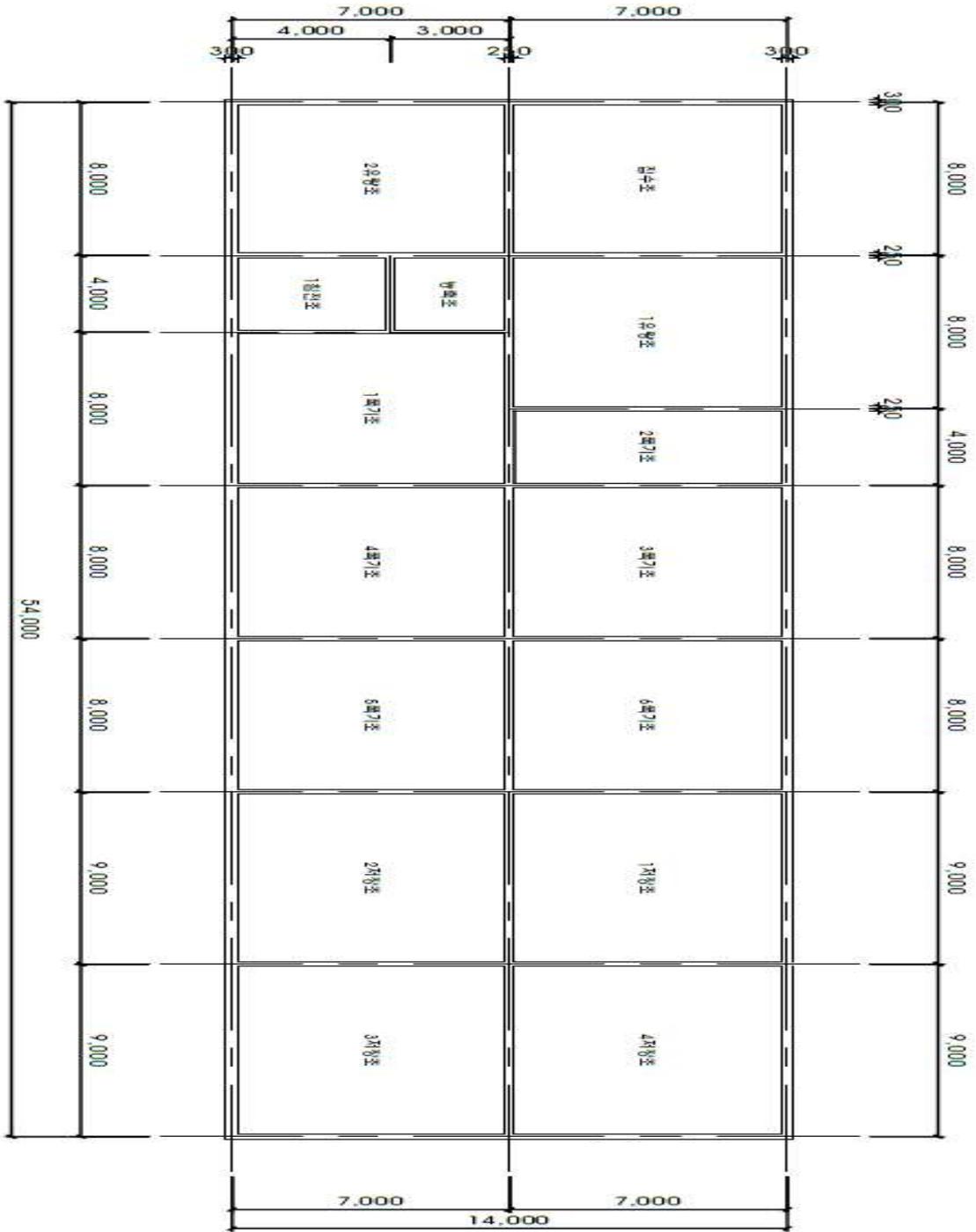
- 설치조건

돈사면적	10,920m ²
슬러리피트 높이	0.4m
사육두수	7,800두
일일발생분뇨량	40m ³ /d

- 액비순환 용량계산

- 집수조용량	$10,920 \times 0.4 \div 30 \times 1.4$	= 204m ³
- 1침전조	$40 \times 11 \times 3/24$	= 55m ³
- 2침전조	$40 \times 4/24$	= 6.7m ³
- 폭기조	40×30	= 1,200m ³
- 액비저장조	$40 \times 180 - (4,368+204+204+204+55+6.7+1,200)$	= 958.3m ³
- 공기공급량①	$0.03 \times 1,200$	= 36m ³ /min
- 공기공급량②	$0.5 \times (1,640-640) \times 40 \times 10^{-3}$	
OD1	$0.1 \times 1,200 \times 8,000 \times 10^{-3}$	= 20kgO ₂ /d
OD2	$4.6 \times (400-170) \times 40 \times 10^{-3}$	= 960kgO ₂ /d
OD3	$(20+960+42.3) \times 224/32 \times 100/21 \times 100/10 \div 1,440$	= 42.3kgO ₂ /d
		= 23.7m ³ /min
	$36 \div 0.1 \sim 0.2$	
- 산기장치		= 180~360개

- 처리시설 평면도(예시)



<그림 13> 처리시설 평면도(예시 * W14,000 × D54,000 × H4,000)

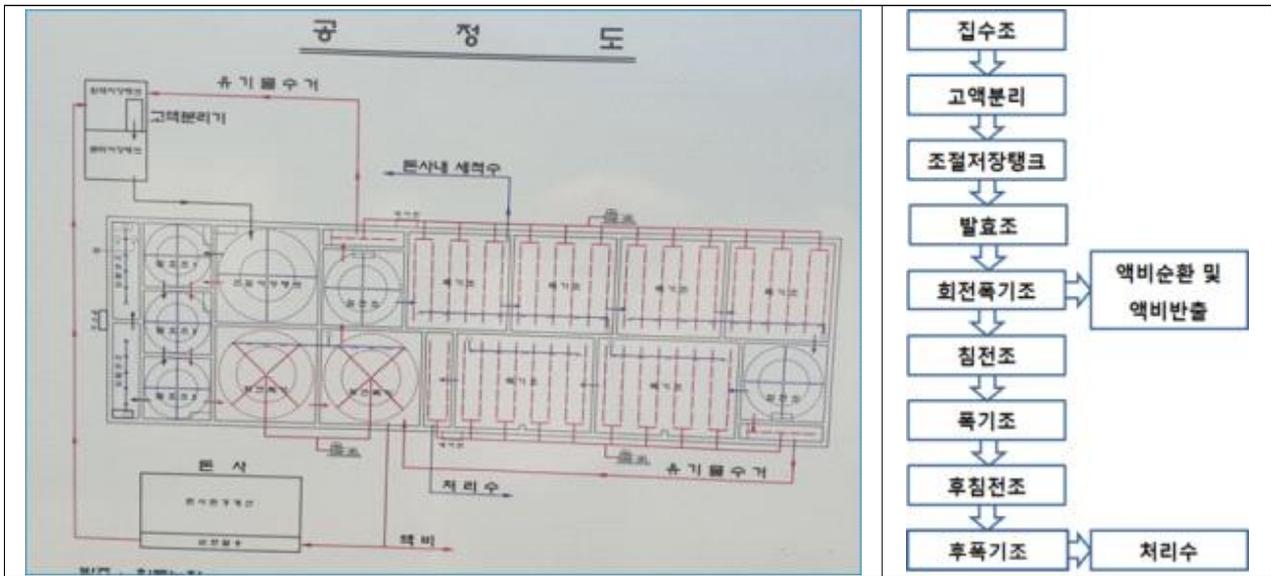
(3) 액비순환시스템 운영 우수사례

(가) 기존 농가의 개선사례

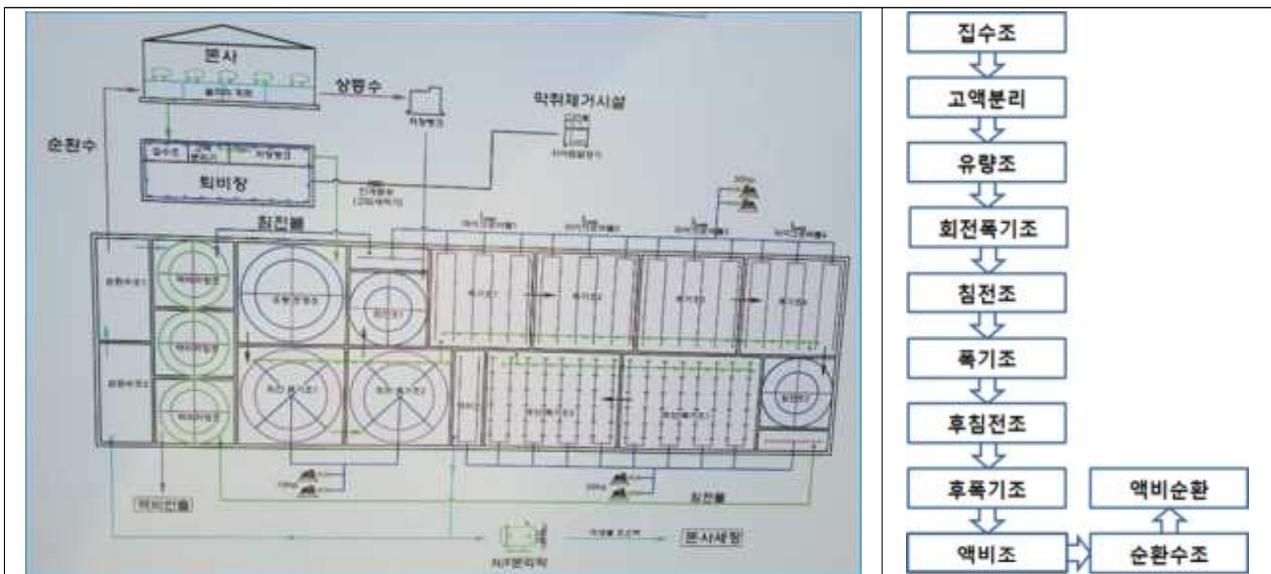
○ 00농장

① 공정순서 변경

- 기존의 공정은 돈사로 순환되는 액비가 회전폭기조에서 반출되었는데, 회전폭기조1,2의 용적은 384m³로 HRT를 계산하면 8.5일이며 이는 ‘가축분뇨 자원화시설 표준설계도’에서 액비를 만들기 위해 정한 HRT 30일에 한참을 못 미치는 처리일수 임.



<그림 14> 기존 공정도 및 계통도



<그림 15> 개선된 공정 및 계통도

- 이에 기존 공정순서인 [집수조→고액분리→조절저장탱크→발효조→회전폭기(순환)→침전조→폭기조→후침전조→후폭기조]를 [집수조→고액분리→유량조→회전폭기조→침전조→폭기조→침전조→후폭기조→액비조→순환수조→액비순환]순으로 바꿈.
- 개선된 공정은 회전폭기조, 폭기조, 후폭기조를 거친 부속 액비를 순환하는 공법으로 바꾸었으며, 폭기조 용적은 폭기조 768m³, 후폭기조 504m³, 회전폭기조 384m³ 합이 총 1,656m³으로 HRT 36.8일로 개선함.

② 침전조 스크래퍼 감속



<그림 16> 기존 감속모터 및 스프라켓



<그림 17> 개선된 감속모터 및 스프라켓

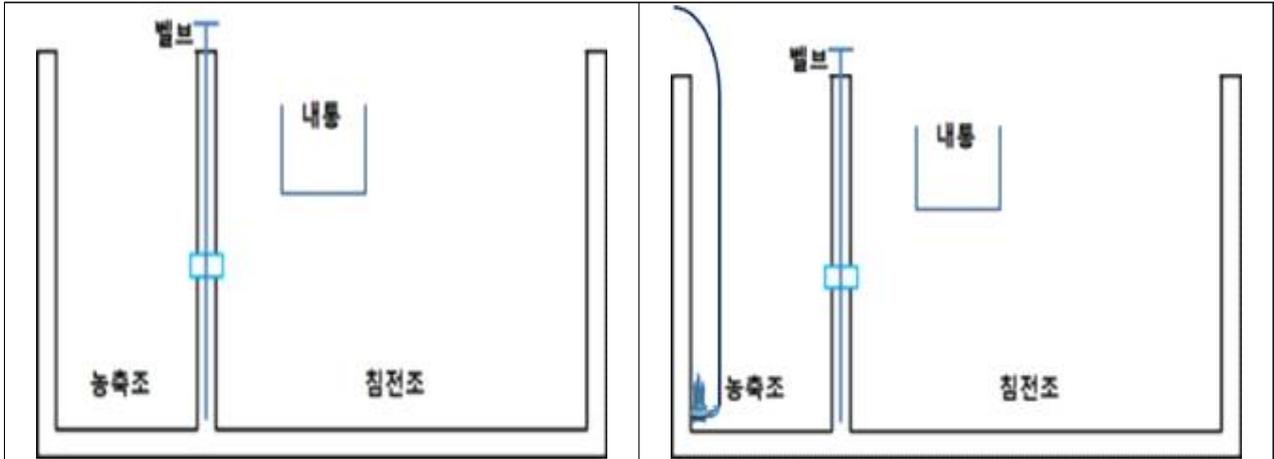
<표 9. 침전조 스크래퍼 감속 전, 후 비교>

구 분	기존 설비	신규 설비	비고
감속모터 rpm	1 rpm	0.5 rpm	현장 계측
구동 스프라켓tooth	12	8	
출력 스프라켓 tooth	16	16	
스크래퍼 rpm	$1 \times 12 \div 16 = 0.75\text{rpm}$	$0.5 \times 8 \div 16 = 0.25\text{rpm}$	모터rpm × 구동스프라켓tooth ÷ 출력스프라켓tooth
결 과	기존 0.75rpm > 신규 0.25rpm		

- 침전조 스크래퍼 실측 결과 침전조 스크래퍼는 0.750rpm의 속도로 회전하는 것을 알 수 있었으며, ‘2016 개인하수·분뇨관리 법정교육교재’에 제시되어 있는 Cyclo reducer RPM 산정식을 활용하여 침전조 스크래퍼의 적정 rpm을 계산한 결과 0.106rpm으로 산출됨.

- 액비순환 적용 시, 침전조에 처리되는 오염수는 고액분리 된 일반적인 분뇨에 비해 오염수의 침전물 성상에 차이가 있으며, 일반적인 침전조의 깊이 5m(유효깊이 4m)에 비해 낮은 4m(유효깊이 3m) 깊이의 침전조인 것을 감안하여 감속모터 및 스프라켓을 0.25rpm으로 감속·교체 함.

③ 침전조의 농축조에 펌프설치



<그림 18> 기존 농축조

<그림 19> 개선된 농축조

- 침전조와 농축조를 연결하는 밸브관이 하부가 아닌 중부에 위치해 있어 밸브관의 높이까지 도달하지 못한 침전층에 의해 유효용적이 감소하며, 처리효율을 떨어뜨리고, 남아있는 침전층은 교반기 운전에 부담을 주는 요인이 됨.
- 농축조의 침전물을 액비저장조로 펌핑하여 부숙된 액비와 함께 반출 함. 순환시스템에서 슬러리피트의 순환수는 액비와 큰 차이가 나지 않는 무약취 상태이며, 개선된 공정도에서 이미 고액분리 후 회전폭기조를 거친 액비이기 때문에, 농축조의 침전물을 액비저장조로 이송하여 추가적인 간헐폭기·교반을 통해 충분한 부숙상태를 만들 수 있음.

④ 브로워 교체



<그림 20> 기존 브로워

<그림 21> 신규 설치된 브로워

<표 10> 기존 브로워 재원

송풍기 배치	공기공급량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	개수	비고
폭기조1,2,3,4	9.29	15 (20)	1	
후단폭기조1,2	9.29	15 (20)	1	
회전폭기조1,2	6.21	7.5 (10)	1	

- ‘가축분뇨 자원화시설 표준설계도’ 에서 제시하고 있는 폭기조 필요공기량 산출식을 활용하여 ‘용적기준 폭기조 필요공기량 산출식’ 을 산정한 결과 폭기조 필요공기량은 23.04m³ · air/min, 후폭기조는 15.12 m³ · air/min, 회전폭기조는 11.52m³ · air/min로 계산됨.

<표 11> 신규 설치된 브로워 재원

송풍기 배치	공기공급량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	개수	총 공기공급량 (m ³ /min)	비고
폭기조1,2,3,4	13.08	22.5 (30)	2	26.4	1대 예비
	3.33	10.5(15)	4		마이크로버블
후단폭기조1,2	9.29	15 (20)	2	18.58	
회전폭기조1,2	6.21	7.5 (10)	2	12.42	

- 폭기조는 30HP 브로워 2대를 신규 배치하고 각각 마이크로버블 이젝터를 설치하며 루즈 브로워 1대는 예비로 운용하여 26.4m³ · air/min의 공기를 공급함.
- 후단폭기조는 기존 20HP 브로워 1대와 기존 브로워 1대를 재배치(20HP 브로워 2대)하여 18.58m³ · air/min의 공기를 공급함.
- 회전폭기조는 10HP 브로워 1대를 신규 배치(10HP 브로워 2대)하여 12.42m³ · air/min의 공기를 공급함.

○ 000팜

① 폭기조 추가설치 및 액비순환시스템 도입

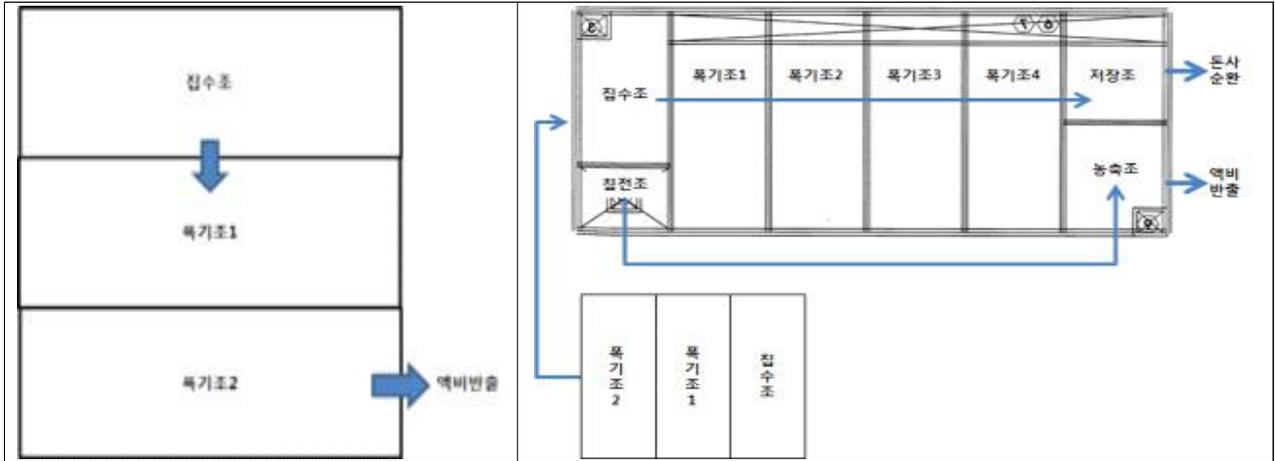


<그림 22> 액비화 시설

<그림 23> 액비화시설 설치

- 농장의 폭기조의 총 용적은 400m³이며 일일분뇨발생량은 20m³이기 때문에 HRT는 20일로 ‘가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도’ 에서 제시한 처리일수 30일 충족하기에는 폭기

조가 부족함.



<그림 23> 기존 액비화 시설 모식도

<그림 24> 액비순환시스템 도입 모식도

- 기존 폭기조 2의 액비를 신설되는 집수조로 이송하며 신설된 액비저장조의 액비를 돈사로 순환함. 침전조의 침전물을 농축조로 이송하고 농축조에서 재처리하여 액비로 반출함.
- 신설 처리시설의 폭기조의 용적은 600m³로 기존의 폭기조 400m³까지 합하면 총 용적 1,000m³, HRT 50일로 '가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도' 충족시키는 용량임.

② 폭기조 브로워 설치



<그림 25> 기존 농축조



<그림 26> 개선된 농축조

<표 12> 기존 브로워 재원

송풍기 배치	공기공급량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	개수	비고
폭기조1	3.33	10.5(15)	1	마이크로버블
폭기조2	3.33	10.5(15)	1	마이크로버블

- 폭기조의 용적은 각각 200m³이며 폭기조에 배치된 송풍기는 10.5kw(15HP) 이젝터 펌프 (마이크로버블)임. 그러나 '가축분뇨 자원화 시설 표준 설계도' 에서 제시한 액비화조 단위 용적당 필요공기량을 이용하여 계산된 폭기조 필요공기량은 폭기조 12m³ · air/min으로 공기공급량이 부족함.

<표 13> 신규 설치된 브로워

송풍기 배치	필요 공기량 (m ³ /min)	동력 KW (마력)	공기 공급량 (m ³ /min)	개수	비고
폭기조1	6	22.5 (30)	13.08	1	
폭기조2	6	22.5 (30)	13.08	1	

- 신규 설치한 액비화조의 단위 용적당 필요공기량 20m³/min을 충족시킬 수 있도록 22.5kw(30마력)의 루츠브로워로 신규 설치함.

③ 돈사 사이 유량조정조 설치



<그림 26> 경사진 구조의 농장

<그림 27> 경사진 돈사사이 유량조정조 설치

- 농장은 고지대에와 저지대에 위치한 돈사로 나뉘어져 있으며 분뇨처리시설은 고지대 돈사와 저지대 돈사의 사이에 위치해 있음. 이러한 돈사 구조로 인해 슬러리 피트에서 처리시설로 분뇨를 이송하는 것에 어려움이 있음.
- 돈사 사이의 유량조정조를 설치하여 분뇨를 간이 저장하고 펌프를 이용하여 기존 처리시설의 집수조로 이송함.

○ 00축산

① 기존 분뇨저장시설의 구조개선



<그림 28> 기존 분뇨저장시설



<그림 29> 개선된 액비순환시설



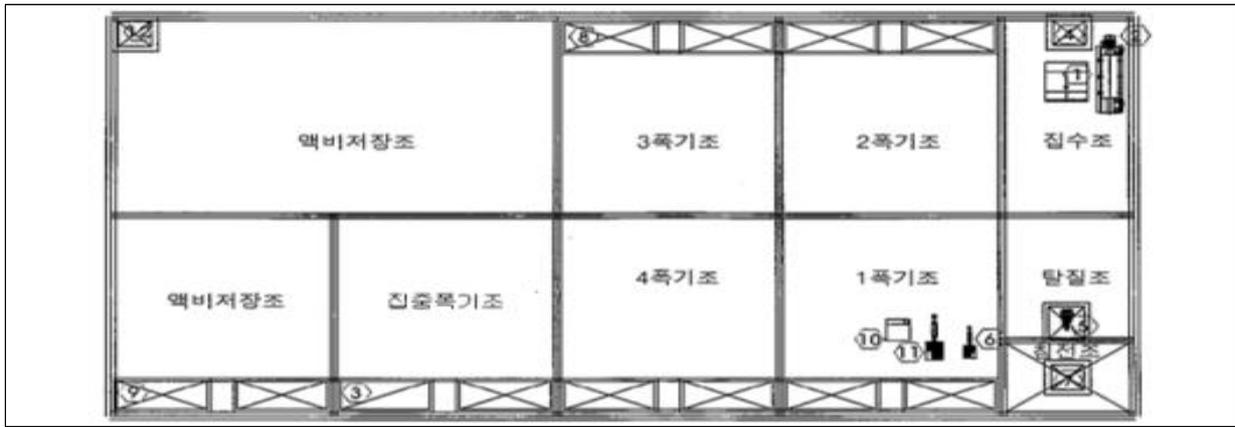
<그림 30> 기존 분뇨저장시설 단면도

- 폭기조와 폭기조 사이가 벽으로 완전히 막혀있어 폭기조 간 액비의 이동이 자연스럽게 못하고 6m의 깊은 수심으로 인한 압력으로 폭기 시 공기공급이 원활하게 이루어지지 않음.



<그림 31> 개선된 액비순환시설 단면도

- 폭기조의 벽 5m지점에 액비가 이동할 수 있는 큰 구멍을 뚫어 폭기조의 유효깊이를 5m로 개선하고 깊은 수심으로 인해 송풍기에 가해지는 부하를 줄임.



<그림 32> 개선된 액비순환시설 도면

② 터보브로워 설치



<그림 33> 브로워실 위치



<그림 34> 터보브로워 및 루츠브로워 설치

- 송풍기에 가해지는 부하를 고려하여 터보 브로워를 설치함.

○ 00농장

① 농장 운영자에게 액비순환원리 및 운전방법 교육

- 돈사 슬러리 피트의 분뇨는 매월에 1회 순차적으로 비우고 비워진 피트를 농가에서 제조한 부숙 액비로 채우는 것을 원칙으로 함.
- 액비순환은 한 동의 돈사부터 순환을 개시하여 천천히 늘려가며 순환되는 돈사가 안정되면 다음 동의 돈사의 액비순환을 시작함.
- 액비순환은 부숙 액비를 확보하는 것이 가장 중요하기 때문에 한번에 많은 양의 분뇨가 액비시설에 유입되면 유기물과 질소의 충격부하가 발생하고 액비 부숙의 기간이 증가하여 액비의 순환효율이 감소함.
- 슬러리피트를 비우더라도 바닥의 침전된 고형 분뇨는 한 번에 제거되지 않으며 농장의 사정상 콘슬랏을 모두 들어내고 바닥을 청소하기에는 어려움이 있기 때문에 꾸준히 액비를 주입시키고 분뇨를 내보내서 바닥의 침전물을 제거시켜야 함.

2-4. 연구개발 성과

가. 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	Interpretation of Ammonia Absorption Behavior in Water Turbulent Flow	Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association,	이상룡, 박진원	27	물 난류에서의 암모니아 흡수 거동 해석	유기성 자원학 회	비SCI	2019. 9.16	ISSN 1225- 6498
2	수로관 표면 고정 히드록실아민-산화환원효소에 의한 암모니아 저감 효과 모사	유기물자원화	이상룡	28 (4)	수로관 표면 고정 히드록실아민-산화환원효소에 의한 암모니아 저감 효과 모사	유기성 자원학 회	비SCI	2020. 01.07	ISSN 1225- 6498

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	Bioresources, Energy, Environment, and Materials Technology (BEEM) 2019	이상룡 (구두발표)	2019. 6. 12-15, 12:15-12:30	Oral Session A1: Bioresources (Hall V302), 홍콩폴리텍대학교, 홍콩	가축분뇨퇴비화 처리과정 중 암모니아 배출 저감 기술 연구 개발
2	GEOTROP2019 Conference	이상룡 (포스터)	28th - 31st 2019. 7. 28-31	Crowne Plaza 호텔, 호주	가축분뇨 유래 악취 물질 중 암모늄염 배출 평가
3	Annual Meeting of the European Federation of Animal Science	S. Lee, M. Kim, J.H. Hwang	2019. 8. 28	city of Ghent (Belgium)	축산의 2차 무기폭기에 기반한 암모늄염 감소에 따른 비용절감
4	Annual Meeting of the European Federation of Animal Science	M. Kim, S. Lee	2019. 8. 28	city of Ghent (Belgium)	가축분뇨의 토양 확산이 오염된 토양에서 미량원소의 생체이용률에 미치는 영향

5	The 3rd International Conference on Biological Waste as Resource	이상룡	2018.12.17	홍콩대학교 Tai-Po 캠퍼스, 홍콩	돈사에서 액비순환시스 템이 슬러리의 질소함량 및 암모니아 발생에 미치는 영향
---	--	-----	------------	----------------------------	---

다. 생명자원(생물자원)/화합물

No	생명자원(생물자원)/화합물명	등록/기탁번호	등록/기탁기관	발생년도

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

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	차아염소산 나트륨을 이용한 돈사 내,외부 및 주변 약취 제거겸 살균 소독 시스템	대한민국	주식회사 에코바 이론	2018 년 10월 17일	102018 012384 6	이종국	2019 년 01월 07일	1019381 210000	100
2	슬러리피트 배관 막힘 방지기능을 갖는 돈사 액비순환 시스템	대한민국	주식회사 에코바 이론	2019 년 06월 24일	102019 007495 3	이종국	2019 년 06월 24일	1020190 074953	100

마. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

No	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

바. 전문 연구 인력 양성

No	분류	기준 년도	현 황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	축산환경 전문컨설 턴트양성 교육	2018				20	19	1						20
2	축산환경 전문컨설 턴트 양성교육	2019				20	19	1						20

3	축산환경 전문컨설 턴트 양성교육	2020				33	32	1					33
---	----------------------------	------	--	--	--	----	----	---	--	--	--	--	----

사. 산업기술 인력양성

No	프로그램 명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원

아. 기술거래(이전) 등

No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	특허등록 (직접실시)	축산농가 악취제거 및 살균소독 기술개발	(주)에코 바이론	2019.12.2 3	3,150,000	1
2	등허등록 (직접실시)	액비순환시스템 순환배관	(주)에코 바이론	2021.01.2 5	8,400,000	1

자. 사업화 투자실적

No	추가 R&D 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자자금 성격

차. 사업화 현황

(단위 : 천원, 년)

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	직접실시	신제품 상품화	국내	제주 태흥농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	41,000		2019	
2	직접실시	신제품 상품화	국내	양주 이담농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2019	
3	직접실시	신제품 상품화	국내	여수 신성농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2019	
4	직접실시	신제품 상품화	국내	부여 낙원농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2019	

5	직접실시	신제품 상품화	국내	상주 대성농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2020	
6	직접실시	신제품 상품화	국내	함평 버든농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2020	
7	직접실시	신제품 상품화	국내	보은 큐농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2020	
8	직접실시	신제품 상품화	국내	원주 동인팜농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	55,000		2020	
9	직접실시	신제품 상품화	국내	고성 싱푸농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	49,500		2020	
10	직접실시	신제품 상품화	국내	평택 해림농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	22,000		2020	
11	직접실시	신제품 상품화	국내	진도 유로하우징 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	43,000		2020	
12	직접실시	신제품 상품화	국내	평택 녹돈농장 차아염소산나 트륨생성기	악취저감 장치 및 안개분무 시스템	(주)에 코바이 론	36,300		2020	
13	직접실시	공정개선	국내	성주 대성농장 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는 리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	53,000		2020	
14	직접실시	공정개선	국내	함평 버든농장 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는 리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	16,008		2020	
15	직접실시	공정개선	국내	보은 큐농장 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는 리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	45,000		2020	
16	직접실시	공정개선	국내	원주 동인팜 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는 리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	149,996		2020	

17	직접실시	공정개선	국내	고성 성푸농장 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	41,000		2020	
18	직접실시	공정개선	국내	진도 우로하우징 제1농장 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	41,800		2020	
19	직접실시	공정개선	국내	진도 유로하우징제 2농장 액비순환배관	액비순환 시스템에 맞는리 슬러리 배출배관 기술	(주)에 코바이 론	47,300		2020	

카. 표준화

No	수행기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련번호	제출(채택) 일	국가
						yyyy.mm. dd	

타. 기술요약정보

연도	기술명	요약내용	기술완성도	등록번호

파. 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록번호
2020	돈사 액비순환 유형별 운영 가이드	2021.3월 발간예정	ILEM-04-2020- 000008-01

하. 기타

(1) 교육 및 컨설팅

NO	교육 및 컨설팅명	교육 및 컨설팅 교재명	주요내용	교육 인원
1	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	퇴비사 밀폐 및 돈사내부 미생물살포 효과 양호	2
2	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	돈사 배기구 바이오필터 및 액비순환시스템 운영 양호	2
3	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	액비순환시스템 운영 양호 농장청소 및 조경상태 우수	2
4	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	액비순환시스템 운영 활성화 및 바이오커튼 설치, 돈사내부 청 소지도 실시	2
5	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	미생물사용으로 악취저감 양호하나 액비순환시스템 미운 영(광역사업지원)	2
6	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	농장악취개선을 위한 악취저감시설 설치를 통한 운영계획 (자본확보후)	2
7	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	안개분무시설미운영 이나 농장자체 지속적 미생물제제 사용으 로 인한 악취저감	2
8	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	액비순환시스템, 안개분무시설 운영 양호 비육사 내부 청소지도	2
9	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	안개분무시설 활용 및 농장자체 지속적 미생물제제 사용으 로 인한 악취저감	2
10	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	액비순환시스템 운용으로 돈사 내·외부 악취발생정도가 낮으나 비육사 고착슬러리로 인한 악취발생	2
11	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	원치커튼 개방 후 민원발생(6월 완전개방) 악취저감시설로 인한 악취저감효과 우수(액비순환) 지속적 농기주변환경관리 필요	2

12	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	농가신축으로 인해 농장환경관리 우수 액비순환시스템 운영 우수 악취저감시설로 인한 악취저감효과 우수	2
13	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	농가신축으로 인해 농장환경관리 우수 액비순환시스템 적용중이며 바이오커튼 추가검토 악취저감시설로 인한 악취저감효과 우수 퇴비사 밀폐필요	2
14	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	악취저감시설로 인한 악취저감효과 우수 축사밀폐 및 기본관리 유지(자돈사 환기문제 발생)	2
15	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	액비저장조내 슬러지 주기적으로 청소 돈사내외 미생물 살포 악취저감으로 인한 생산성 향상 기대 바이오커튼, 액비순환시스템 및 안개분무시설로	2
16	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	순환시스템 돈사가 10여동으로 많고 돈사 내 피트 구조 등을 고려해 볼 때 (비육1동당 순환배관 40개) 사업비가 많이 소요됨으로 농가와 상의해 금액을 좀 더 상향시키는 방안 검토 권고	1
17	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	이산화염소 발생장치 내부에서 운영중 본 사업에서는 현대화에서 제외된 비육돈사(스크레퍼/개방 식) 2동을 밀폐한 후 스크리버를 이용해 악취를 저감할 계획	1
18	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	전체 축사를 재건축 하는 계획으로 진행 중	1
19	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	인근 민가로부터 민원발생이 우려됨 농장 주변 청소, 정리정돈 등 기본관리가 우선되어야 함	1
20	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	부지여건이 좁은 관계로 한 대로 2개 돈사를 연결할 수 있는 악취방지시설을 선정해 운영하는 것이 농장에 유리 할 것으로 판단됨	1
21	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	돈사 밀폐화 스크리버 방식의 악취방지시설의 운영 주기적인 물 교체가 필수, 탈취제 병행해 사용권고	1
22	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	축사 현대화 사업을 통해 재건축 예정 방류시설과 연계부분도 지자체화 협의해 인허가를 받는 방향으로 검토해 보시길 권고	1
23	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	5동의 스크레퍼 돈사에서 수거한 고형물을 3동의 퇴비사에서 퇴비화하고 있음(업체에 위탁해 퇴비 교반관리를 하고 있음) 농장 악취저감을 위해 퇴비사 관리에 주의를 기할 필요가 있음	1

24	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	돈사 3동의 지붕배기 시설에 다수의 스크리버를 시공하고 있음 지붕에 다수의 스크리버를 설치할 경우 유지관리에 문제가 있어 보임(적절한 유지관리 방안을 마련할 필요가 있음)	1
25	축산악취 농가현장 교육	축산 악취관리 실용사례	정화방류시설을 이용해 분뇨를 자가 처리중 지방비 사업으로 비육사에 악취저감시설을 설치 2021년도에 퇴비사를 신축할 계획	1

(2) 정책활용

정책활용 상태	시책명	주관부처	시책내용	기대효과
정책건의	액비순환시 스템 운영매 뉴얼 홍보 (보급확대)	농림축산식품부 축산환경자원과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정부지원사업(가축분뇨처 리지원사업 등)을 통해 액비 순환시스템 지원 시 사업대상 자에게 매뉴얼 배포 및 홍보 - 세부사업지침 수립 시 액비 순환시스템 운영매뉴얼 활용 및 참고 등의 내용 추가 ○ 액비순환시스템 운영매뉴얼 제작 배포와 기술진단 및 컨설 팅 업체를 양성하여 양돈장의 액비순환시스템 보급 확대 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비순환시스템 적 정운동을 통한 악취저 감 효과 극대화 ○ 양돈장 내부 사육환 경 개선을 통한 생산성 향상
정책건의	가축분뇨 위 탁처리시설 지원기준 및 수거 단가 기준 마련	농림축산식품부 축산환경자원과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨의 특성을 파악하 여 수거단가의 적절성 검토 및 기준 마련 - 농가별 가축분뇨 액비화에 따라 기준을 마련, 액비 등급별 가축분뇨 수거단가 차별화 필요 ○ 중앙 부처 간 가축분뇨 위 탁처리시설의 동일한 지원 기 준 마련 - 동일한 목적의 사업일 경우 농식품부 및 환경부의 시설 및 운영비 지원에 차이가 없 도록 지원 기준 및 법적 근거 마련 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨 수거 단가 의 차별화를 통해 농가 의 효율적인 액비생산 과 액비순환시스템 유 도 및 위탁처리시설의 투명성 확보 ○ 가축분뇨 위탁처리 시설의 정부 지원기준 일원화를 통해 처리시 설의 경영 내실화 도모 및 분뇨 수거 단가 안 정화 유도

정책건의의	액비순환시스템의 검증 체계 수립	농림축산식품부 축산환경자원과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비순환시스템 및 관련 기계·장비 효과를 검증할 수 있는 제도 수립 - 기술 및 장비를 검증할 수 있는 법적 체계 수립 - 기술 및 장비를 검증할 수 있는 기관을 지정하고, 관련 예산 등 지원 ○ 공인 인증된 기관을 활용하여 기술 및 장비 등을 검증하고, 관련 업체의 기본정보, 주요기술, 제원, 가격 등의 정보 공개 - 국가지원사업 등에 공인받은 시설 및 기계·장비를 지원하도록 추진 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 효과가 불분명한 액비순환시스템(공정)의 시장 유통 방지 및 불필요한 비용 발생에 대한 자정효과 기대 ○ 정보 제공을 통해 가축분뇨처리지원사업 등의 지원근거와 적정가격의 판단기준으로 활용하고, 사업 투명성 제고 ○ 업체별·품목별 현황 조사를 통한 유통 제품의 성능 향상 및 가격 비교 평가를 통한 적정 가격 유도, 미등록 업체 및 미검증 제품 양성화
정책건의의	액비순환 정부 지원사업 교육 이수 확대	농림축산식품부 축산환경자원과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정부지원사업을 통해 액비순환시스템을 지원받을 시 사업대상자는 액비화 기술 및 약취관리 관련 교육 이수 확대 - 축산환경 관련 전문기관에서 실시하는 액비순환시스템 운영 시 필요한 액비화 기술, 약취관리 등의 교육내용을 이수한 예비사업자에 한해 정부지원사업(가축분뇨처리지원사업 등) 사업대상자로 선정 추진 - 양돈장 내 액비순환시스템 도입 전 우수사례 소개 및 현장답사 등의 교육내용을 통해 현장 운영관리 시 주의사항, 액비순환시스템 설치 업체별 특징 등을 숙지하여 향후 액비순환시스템 도입 시 문제발생 예방 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고품질 액비생산 및 약취저감 효과 기대 ○ 액비화 과정의 문제점 발생에 따른 양돈장의 신속한 대처로 약취관리 기대 ○ 축산약취개선을 통한 민원감소로 축산업 이미지 개선

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 최종 목표

구분	내용
최종 목표	<양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립> - 양돈장 액비순환 기존 시설 설치 조건 확립 및 관리를 위한 기술 개선 및 순환시스템 도입
	<돈사 액비 순환기술 매뉴얼화> - 액비순환기술의 운전·유지관리를 위한 기준 마련 및 매뉴얼 제작
	<분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가> - 분뇨처리 방식별 주요 악취물질 배출량 평가를 통한 악취저감 효능 평가 및 비교
	<분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가> - 분뇨처리 방식별 농가 생산성 개선 효과 비교 및 비용/편익 분석을 통한 경제성 비교
세부 목표	양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립> - 액비순환 기본 시설 설치 조건 확립 - 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계 - 양돈장 액비생산기술 확립 및 유지관리방안 제시 - 돈사유형별(일괄사육, 비육전문, 번식전문) 구분 제시
	<돈사 액비 순환기술 매뉴얼화> - 액비순환을 위한 액비 상대 기준 설정 - 슬러리피트, 액비순환장치 등에 대한 필수 설치 요소 파악 - 액비순환시스템 관리를 위한 점검 방안(시설설치에 따른 점검방법, 액비 점검방법)마련 - 액비순환시스템 규모, 사양단계별 설치 및 운용비용 산정
	<분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가> - 양돈장 악취발생 정밀 조사, 주요 악취 물질 배출 수준 평가 - 분뇨처리 방식에 따라 NH3, H2S, 분진을 측정하여 악취감소에 효과적인 분뇨처리방식 평가 - 환경조건이 제어되는 챔버시스템을 활용하여 액상시료 악취배출능 평가
	<분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가> - 악취저감 및 환경개선을 통한 생산성 향상 사례를 조사하여 악취발생과 생산성과의 상관성 파악 - 분뇨처리방식별 PSY, MSY, 농장 사료요구율, 폐사율 등의 생산성 평가 비교 - 분뇨처리방식별 비용편익분석을 통해 경제적인 분뇨처리방식 모델 제시

3-2. 연구개발 목표 및 결과

가. 연구개발 목표 및 결과

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2018)	<주관기관> 양돈장 분뇨처리시설 현황조사 및 문제점 파악에 따른 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계	양돈장 분뇨처리시설 현황조사	- 국내 액비순환시설 설치, 정화방류시설 설치, 일반처리시설 설치농가 조사	- 국내 13개 농가에 대한 분뇨처리시설 조사 실시 및 현황 정리
		양돈장 분뇨처리시설 문제점 파악	- 국내 분뇨처리시설 문제점 파악	- 6개 농가에 대한 분뇨처리시설 문제점 파악완료
		돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계	- 파악된 분뇨처리시설 문제점을 토대로 액비순환 설계	- 문제점 파악된 6개 농가를 대상으로 액비순환 설계
	<제1협동> 돈사액비순환기 술 매뉴얼화	액비순환기술의 국내·외 사례 조사	- 문헌조사를 통한 국내외 사례 파악(장단점)	- 국내외 연구자료 및 현장실 태를 조사하여 액비순환시 스템 내용 정리
		액비순환기술의 돼지 사양단 계별 구분	- 돼지 사양단계별(자돈, 비 육돈, 모돈) 맞춤형 기술 제시	- 액비순환시스템을 사용하는 일괄사육 돈사(무창, 유창) 를 선정하여 현장 조사 진 행
		액비순환기술 적용에 따른 환 경적 요인 파악	- 돈사 외부의 장비, 유지관 리에 따른 환경적 요인 파 악	- ICT 기계장비를 설치하여 6 개월간 환경변화 및 악취 농도(NH ₃) 분석
	<제2협동> 분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가	무처리 슬러지 중 용존 악취 잠재물질 농도 및 악취발생 요인간 연관성 연구	현장 피트 슬러리 특성 조사	현장 슬러리 피트 특성 조사 완료
			현장 악취 측정	현장 악취 측정 완료
			슬러지 중 용존 악취잠재물질 농도 측정	슬러리 악취잠재물질 농도 측정 일부 완료 (분석 진행 중)
	<제3협동> 분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 관리 조건 확립	실증농가 선정	액비순환 실제 예정농가 확보	경산시 3농가 서귀포시 3농가 확보
		국내외 악취저감 및 환경개선 을 통한 생산성 향상 사례조 사	국 내외 문헌조사	국외 및 국내 연구 사례 조사
		악취발생과 양돈 생산성 과의 상관성 조사	유의성 검증	상관관계 유의성 분석

2차 년도 (2019)	<주관기관> 양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립	양돈장 액비제조기술 보완 및 적용의 안정성 및 편리성 구 축	<ul style="list-style-type: none"> - 양돈장 액비제조기술 현황 조사 - 양돈장 액비제조기술 문제점 도출 및 유지관리방안 제시 - 악취발생이 적은 액비 제조기술 도입, 보급 및 활용방안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 양돈장 액비제조기술 현황 조사 실시 - 양돈장 액비제조기술 문제점 도출 완료 - 양돈장 액비제조기술 유지관리방안 및 도입, 보급 및 활용방안 제시 완료
		돈사 액비순환 설계기술 적용	<ul style="list-style-type: none"> - 기존시설 개·보수 방안 적용 - 돈사유형에 따른 돈사 순환시스템 적용 - 액비순환시설 설치 개선사례 조사 - 돈사 액비 순환수 공급 표준방법 적용 - 슬러리 돈사의 배출에 관한 표준방법 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존시설 개·보수 완료 - 돈사 사육단계에 따른 액비순환량 조절방안 적용 - 액비순환시설 설치 개선사례 조사완료 - 돈사 액비순환 순환수 공급 및 슬러리 돈사 배출 표준방법 적용완료
		양돈장 악취관리 시스템 적용	<ul style="list-style-type: none"> - 배기휀 악취에 따른 악취저감 방안 제시 - 액비 순환수 농도에 따른 공급조절 방안 제시 - IOT시스템 도입을 통해 공급, 배출 배관에 공급 시스템 조기경보 시스템을 설치 운영함 	<ul style="list-style-type: none"> - 양돈장 악취제어 IOT시스템 도입을 통한 배기휀 악취저감 방안 제시 및 순환수 ORP에 따른 공급조절 방안 제시 및 조기경보 및 모니터링 시스템 구축, 설치 예정
	<제1협동> 돈사액비순환기 술 매뉴얼화	액비순환 필수 기술 기준 마련	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 액비순환시스템 운영 농가(4개소) 운영현황 점검 및 분석 * 액비순환을 위한 액비 상 태 기준 설치 * 슬러리피트 액비순환을 위한 필수 설치 요소 기본 파악 * 집수조 등 분뇨처리장에 필수 설치 요소 기준 * 돈사 외부에 액비순환을 위 한 이송 장치 등에 대한 필수 설치요소 파악 	<ul style="list-style-type: none"> - 액비순환시스템을 분류(3가 지 유형)하여 액비 성분분 석을 통한 액비 기준 마련 - 유형별 테스트 베드농가를 조 사하여 필수 설치 요소 확인 - 유형별 테스트 베드농가 조 사를 통한 필수 요소 확인
	<제2협동> 분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가	액비순환시스템 적용 양돈장 슬러리에 대한 챔버기술을 적 용한 환경조건 제어 악취 배 출계수 기반 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 시험돈사: 액비순환시스템 적용 농가 3개소 - 처리구 및 공정단계별 샘플 혼합액(3개 양돈장 각 10개 샘플)을 통한 악취저 감 효과 평가 	
	<제3협동> 분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 관리 조건 확립	양돈분뇨처리 방법(액비재순 환)적용 전·후 사료섭취량, 증 체량, 사료요구율, 폐사율을 조사하여 생산성 개선효과 비 교	액비순환방식 적용시 돈사내 악취 농도 조사 액비순환방식 적용시 분뇨성상 조사 액비순환방식 적용시 생산성 조사	액비순환방식 적용시 악취농 도, 분뇨성상에 생산성 변화 분석
		양돈분뇨처리 방법(관행 슬러 리돈사)에 따른 사료섭취량, 증체량, 사료요구율, 폐사율을 조사하여 생산성 비교	관행 슬러리 돈사내 악취 농도 및 생산성 조사 액비순환 돈사내 돈사내 악취 농도 및 생산성 조사	관행 슬러리 농가와 액비순환 농 가 생산성 비교

3차 년도 (2020)	<주관기관> 양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립	돈사 액비순환 개선효과 검증	- 액비순환시설설치 농가 악취 분석 및 효과	- 2협동의 악취분석 자료와 3협 동의 경제성 분석자료를 통해 검 증
		돈사 액비순환기술 설계조건 확립	- 액비순환기술 공정별 설계조 건 확립	- 집수조, 침전조, 폭기조 등 각 공정별 설계기술 개발 - 액비순환방법 제시 - 액비순환 운영방법 및 주의사 항 제시
	<제1협동기관> 돈사액비순환기 술 매뉴얼화	농가용 액비순환시설 설치 기 준 및 운전 관리 매뉴얼 제시	- 설치 단계별 기준 및 설치비 용 산정 - 액비순환시스템 운전 및 점검 항목 제시, 적정운영 비용 제시	- 에코마이론의 설계기술, 동국대 학교의 악취분석 및 샘플분석 자 료, 축산경제연구원의 경제성 분 석 자료를 취합하여 액비순환시 설 매뉴얼화
	<제2협동기관> 분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가	액비순환시스템 적용 양돈장 악취 현장평가	- 시험돈사: 액비순환시스템 적 용 3개 돈사 - 액비순환시스템 적용 양돈장 의 악취저감 평가	-양돈장 현장평가를 일정 수행하 였으나 슬러리(유입수) 샘플에 대한 대표성이 모호하여 올바른 악취평가(관능평가)를 수행하는 데 어려움 발생 -유입수에 대한 챔버실험을 추가 수행하여 액비순환시스템의 악취 저감효과를 검증
	<제3협동기관> 분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 관리 조건 확립	양돈분뇨처리 방법별 경제성 (비용/편익) 분석	-관행 슬러리돈사방식 대비 피 트내 침전물 제거 시 추가비용 분석 -관행 슬러리돈사 방식 대비 액 비순환방법 적용 시 추가비용 분석	- 관행 슬러리돈사의 침전물 제 거에 대한 경제성을 분석 - 액비순환 적용 전후 악취농도 및 생산성 비교 분석
		양돈분뇨 내 악취유발물질 농 도감소 및 악취저감 등의 생 산성 증대를 위해 적용된 기 술의 경제성 분석을 통한 경 제적인 모델제시	-액비순환 기술 방법별 경제성 분석을 통한 경제적인 모델 제 시	- 액비순환의 4방식별로 경제성 을 비교분석
		돈사 내 환경개선과 생산성과 의 상관관계 도출	- 2협동의 돈사 악취측정 결과 를 적용하여 생산성타의 상관관 계 도출	- 돈사 내 악취농도에 따른 돼지 생산성적 및 경제성을 분석

나. 연구개발 성과 및 평가방법

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용 홍 보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단 위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	20	10		10		10	10							5	10	10		15		
최종목 표	2	2		1		45	12 5				1	5		5	45	70	5	1		
1차연 도	목 표	1				5	25							1	5	20				
	실 적	1												1	5	20				
2차연 도	목 표	1	1			10	50					1		1	10	20	2			
	실 적	1	1									1		4	10	20				
3차연 도	목 표		1	1		10	50				1	2		2	10	10	2	1		
	실 적		1	2		19	89 9								10	33	4	1		
소 계	목 표	2	2		1	25	75				1	3		4	25	50	4	1		
	실 적	2	2		2	19	89 9					2		5	25	73	4	1		
종료 1차연 도						10	30							1	10	10	1			
종료 2차연 도						10	30					1			10	10				
종료 3차연 도							30					1								
소 계						20	90					2		1	20	20	1			
합 계	2	2				45	16 5					5		6	45	70	5	1		

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

가. 사업화 미달성

- 코로나 및 아프리카 돼지열병의 상황으로 인해 농장 자본의 위축되어 제품화의 목표치를 달성하지 못함. 또한 초기 제품모델에 대한 가격이 다소 높아서 제품판매에 어려움이 발생
- 에이 제품모델을 개선하여 가격을 낮추고 경량화하면서 제품판매 실적이 증가하는 추세임. 연구종료 이후에도 기술이전 제품에 대한 지속적인 마케팅을 통해 제품화 실적을 보충할 계획

나. 학술성과 미달성

- 코로나 상황으로 인해 학술 및 논문제출 일정에 변동이 발생함
- 2021년 비sci논문을 달성하였으며, sci 논문도 현재 평가 중에 있음.

4. 연구결과의 활용 계획 등

4-1. 연구개발 결과의 활용방안

- 액비순환시스템 적용시 가축사육제한 거리 완화 제도 건의
- 정부의 액비순환시스템 보급 확대를 위한 시책 근거 마련
- 액비순환시스템 시설 설치 및 관리 매뉴얼 제공을 통한 농가의 운전 및 점검 용이로 보급 확대 유도

4-2. 기대성과 및 파급효과

가. 기술적 측면

- 돈사 유형별 액비순환시스템 표준 설계도 제작을 위한 기초 자료 제공
- 액비순환시스템 설계 미흡, 설치 후 운전 미숙, 관리 소홀로 인한 농가 애로사항 해결

나. 경제적·산업적 측면

- 해외 양돈장에 국내에서 입증된 액비순환시스템 설치를 통한 수출액 증대
- 액비순환시스템 농가 확대 보급을 통한 관련 시설·설비 업체의 일자리 창출

다. 환경적 측면

- 양돈농가의 가축분뇨에 의한 악취감소로 민원발생 최소화
- 도시화로 인해 살포지가 부족한 지역, 4대강 유역, 민원다발 지역 등에 액비순환시스템 적용시 외부 반출 액비를 최소화

붙임. 참고문헌

- Spoelstra, S. F. 1980. Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development. *Agric Environ* 5 241-260.
- Mackie, R. I., P. G. Stroot and V. H. Varel. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *J. Anim. Sci.* 76:1331-1342.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M. N., Sousa, P. 2009. Reduction of odor and odorant emissions from slurry stores by means of straw covers. *J. Environ. Quality.* 4, 1518-1527.
- Trabue, S., Kerr, B., Bearson, B., Ziemer, C. 2011. Swine odor analyzed by odor panels and chemical techniques. *J. Environ. Quality.* 5, 1510-1520.
- Trabue, S., Kerr, B., Scoggin, K. 2016. Odor and odorous compound emissions from nature of swine fed standard and dried distillers grains with soluble supplemented diets. *J. Environ. Quality.* 45, 915-923.
- Keener, K. M., J. Zhang, R. W. Bottcher, R. D. Munilla. 2002. Evaluation of thermal desorption for the measurement of artificial swine odorants in the vapor phase. *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* 45, 1579-1584.
- Koziel, J. A., Jarett P. Spinhirne, Jenny D. Lloyd, David B. Parker, Donald W. Wright, Fred W. Kuhrt. 2012. Evaluation of Sample Recovery of Malodorous Livestock Gases from Air Sampling Bags, Solid-Phase Microextraction Fibers, Tenax TA Sorbent Tubes, and Sampling Canisters. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 55, 1147-1157.
- Parker D.B., Zena L. Perschbacher-Buser, N. Andy Cole, Jacek A. Koziel. 2010. Recovery of Agricultural Odors and Odorous Compounds from Polyvinyl Fluoride Film Bags. *Sensors.* 10, 8536-8552.
- Moral, R., Perez-Murcia, M. D., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C., Rufete, B. 2008. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from south-eastern Spain. *Waste Management.* 28, 367-371.
- Hernandez-Sancho, F., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R. 2011. Cost modelling for wastewater treatment processes. *Desalination.* 268, 1-5.
- Duckmin, H. and Doohwan, K. .2015. 액비순환시스템의 양돈장 악취저감 효과. 49(4), pp. 57-64.
- Lee, S. R. *et al.* 2013. Synergistic ammonia losses from animal wastewater. *Atmospheric Environment.* Elsevier Ltd, 71(December), pp. 245-250. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.01.046.
- O'Neill, D. H., and V. R. Phillips. 1992. Review of the control of odor nuisance from livestock buildings: 3', Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *J. Agric. Eng. Res.* 53(1), pp. 23-50.
- The Midwest Plan Services. 1998. *The Swine Housing and Equipment Handbook.*

- MWPS-8, Fourth Edition, pp.1-112.
- Avery, G.L., Merva, G.E. & Gerrish, J.B. 1975. Hydrogen sulfide production in swine confinement units. *Trans. ASAE*. 18 (1975), pp. 149-151.
- Kim, K.-Y & Ko, H.-J & Choi, H.-L & Kim, H.-T & Kim, Yongbaek & Roh, Y.-M & Lee, C.-M & Kim, C.-N. 2007. Farmer and Pig Exposure to Aerial Contaminants in a Pig Confinement Building. *Transactions of the ASABE*. 50. 993-998. 10.13031/2013.23139.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1975. 14th Edition, p 410, Method 418A and 418B
- Annual Book of ASTM Standards. 1976. Part 31, "Water", Standard D1426-74, Method A, p 237
- Montes, Felipe & Rotz, C.A. & Chaoui, Hala. 2009. Process Modeling of Ammonia Volatilization from Ammonium Solution and Manure Surfaces: A Review with Recommended Models. *Transactions of the ASABE*. 52. 10.13031/2013.29133.
- Le PD, Aarnink AJA, Ogink NWM, Becker PM, Verstegen MWA. 2005. Odour from animal production facilities: its relationship to diet. *Nutr Res Rev* 18:3 - 30.

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 양돈장 악취 저감을 위한 액비순환 운용 기술 및 분뇨처리 방식별 효과규명				
	(영문) Evaluating the effect of liquid fertilizer circular operation technique system depending on different practices of swine waste liquid treatment				
주관연구기관	(주)에코바이론		주 관 연 구 자 책 임 자	(소속) (주)에코바이론	
참 여 기 업	축산환경관리원 동국대학교 한국축산경제연구원			(성명) 강 구 상	
총연구개발비 (1,100,000천원)	계	1,100,000천원	총 연구 기간	2018.04.26.~2020.12.31.(33개월)	
	정부출연 연구개발비	825,000천원	총 참 연 구 원 여 수	총 인원	36명
	기업부담금	275,000천원		내부인원	36명
	연구기관부담금			외부인원	
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 본 연구는 양돈장의 악취저감을 위한 액비순환시스템의 보급 및 확산과 운용 개선을 위한 액비순환 시스템 운용기술의 개발 및 실증을 목표로 하며, 최종적으로 돈사 액비순환시스템 설치 및 운용 관리 매뉴얼 제작을 위한 연구임. - 본 연구를 통해 특허등록 2건, 기술이전 2건을 통한 매출액 약 8억8900만원, 교육 및 컨설팅 25건, 인력양성 73건, 논문발표 비SCI 2건, 학술발표 5건, 정책건의 4건, 매뉴얼제작 1건의 성과를 거둘 수 있었음. <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 악취발생이 적은 액비순환시설 설치를 위한 최적화된 설계방법을 개발하였으며, 액비순환에 적합한 순환방법을 개발하여 시스템에 적용하였음. - 돈사 액비순환에 따른 악취저감을 평가하였으며, 액비순환농장의 액비 및 슬러리 샘플을 분석하여 액비순환에 적합한 액비성상을 조사함. - 액비순환시설과 관행돈사의 분뇨처리 방식에 따른 생산성 개성효과 및 경제성을 평가(PSY, MSY, 폐사율, 증체량 등) <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 액비순환 기본 시설 설치 조건 및 액비제조기술, 순환기술 확립을 통한 액비순환시스템 시설, 관리조건 표준화 - 돈사 액비순환시스템 시설 설치 및 유지관리를 포함한 매뉴얼 제작 보급 - 분뇨처리 방식별 악취저감 평가 및 생산성, 경제성 평가를 통한 국내 실정에 맞는 경제적인 액비순환 모델 제시 					

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		318014-3	
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야	축산, 동물시설·환경·복지			과제구분	단위
사업명	농생명산업 기술개발 사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	양돈장 악취저감을 위한 액비순환 운용 기술 및 분뇨처리 방식별 효과 규명			과제유형	개발
연구기관	(주)에코바이론, 축산환경관리원, 동국대학교, 한국축산경제연구원			연구책임자	강 구 상
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2018.04.26.~ 2018.12.31.	225,000	75,000	300,000
	2차연도	2019.01.01.~ 2019.12.31.	300,000	100,000	400,000
	3차연도	2020.01.01.~ 2020.12.31.	300,000	100,000	400,000
	계	2018.04.26.~ 2020.12.31.	825,000	275,000	1,100,000
참여기업	(주)에코바이론				
상대국	상대국연구기관				

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2021.02.26

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)에코바이론	이사	강 구 상

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.

확 약	
-----	--

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (우수)

- 연구 목표를 충실히 수행하였으며, 최종적인 결과물인 액비순환시스템 매뉴얼화를 완성함
- 각 연구기관이 매뉴얼의 구성에 알맞는 연구를 수행함
 - 액비순환시설 설계 최적화, 액비순환에 적합한 액비의 제시, 악취제거 효과평가, 액비순환적용에 따른 경제성 평가, 매뉴얼구성 및 작성

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (우수)

- 액비순환시설의 표준설계방법과 운용방법을 제시
- 매뉴얼의 보급으로 인해 양돈장 액비순환 개별설치 우수사례 증대 기대
- 분뇨처리 방식별 악취평가와 경제성평가를 통해 효율적인 액비순환 모델 제시

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (우수)

- 액비순환시설의 실제 설계가 가능한 매뉴얼을 제작
- 분뇨처리 자동화에 대한 가능성을 제시하여 추가적인 연구개발의 필요성을 제시

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (우수)

- 아프리카 돼지열병과 코로나의 악조건으로 인해 농가방문 및 실험 수행에 있어서 많은 어려움이 있었으나, 정성적·정량적 목표를 달성하기 위해 노력함
 - 농가 시료 채취가 어려움을 랩 스케일의 챔버실험으로 대체
 - 액비순환 대표농장이 전염병으로 살처분하여 연구에 부합하는 대체농장을 물색

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (보통)

- 논문과 제품화의 성과달성이 다소 미흡함
 - 논문 성과는 현재 평가결과를 기다리고 있음

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립 - 액비순환 기본 시설 설치 조건 확립 - 돈사 액비순환 설계기술 개발 및 설계 - 양돈장 액비생산기술 확립 및 유지관리방안 제시 - 돈사유형별(일관비육, 비육전문, 번식전문) 구분 제시	25	23	액비순환시설 설계기술 개발 및 안정적인 액비생산 기술을 위한 필요조건들을 확립함. 돈사의 유형별로 액비순환방법을 ORP를 통해 판단하는 방법을 제시하였으나, 실제 적용하지 못하고 시스템 구상에서 그친 것이 아쉬움.
<돈사 액비 순환기술 매뉴얼화> - 액비순환을 위한 액비 상태 기준 설정 - 슬러리피트, 액비순환장치 등에 대한 필수 설치 요소 파악 - 액비순환시스템 관리를 위한 점검 방안(시설설치에 따른 점검방법, 액비 점검방법) 마련 - 액비순환시스템 규모, 사양단계별 설치 및 운용비용 산정	25	25	각 협동기관의 연구자료를 바탕으로 액비순환시설의 액비상태 기준설정, 필수 설치요소 파악, 점검방법 마련, 경제성을 종합적으로 정리하여 매뉴얼화함.
<분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가> - 양돈장 악취발생 정밀 조사, 주요 악취 물질 배출 수준 평가 - 분뇨처리 방식에 따라 NH3, H2S, 분진을 측정하여 악취감소에 효과적인 분뇨처리방식 평가 - 환경조건이 제어되는 챔버시스템을 활용하여 액상시료 악취배출 능 평가	25	25	액비 및 슬러리 시료분석, 액비순환 시설 및 농가의 악취평가, 챔버실험을 계획대로 실시함. 특히 국내 상황으로 인해 현장조사 및 샘플채취에 어려움이 있었음에도 다른 방안을 강구하여 연구수행을 완료함.
<분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가> - 악취저감 및 환경개선을 통한 생산성 향상 사례를 조사하여 악취발생과 생산성과의 상관성 파악 - 분뇨처리방식별 PSY, MSY, 농장 사료요구율, 폐사율 등의 생산성 평가 비교 - 분뇨처리방식별 비용편익분석을 통해 경제적인 분뇨처리방식 모델 제시	25	25	액비순환시설의 경제성 평가를 담당하여 분뇨처리방식별 농가조사를 빠짐없이 수행하였으며, 생산성 및 경제성을 대각도로 조사·평가함.
합계	100점	98점	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

정성적 연구목표에 맞는 연구를 충실히 수행하여 액비순환시설의 표준 매뉴얼을 제시하였음.
그러나 일부 정성적 목표를 달성하지 못 하였으며, 연구종료 후 추가 달성이 가능한 부분(논문기재, 제품화)이기에 아쉬움이 남음.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

연구수행 기간동안의 아프리카돼지열병과 코로나라는 악조건으로 인해 당초 섭외 및 동의를 얻은 농가가 사라지거나 방문거절이 많았으며. 축산농가의 재정적인 어려움으로 인해 제품화를 모두 달성하지 못한점을 평가 시 고려해야 함.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

연구결과 발간하는 액비순환시설 매뉴얼 책자는 축산환경관리원에서 본격적으로 배포할 예정, 또한 본 연구를 통해 검증된 액비순환의 악취저감 능력과 경제적 이익을 토대로 액비순환시설 보급을 위한 지원 정책의 정당성을 부여함.
미흡한 연구성과는 추가적으로 달성할 예정.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

--

2. 연구기관 자체의 검토결과

--

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	축산, 동물시설·시설·복지	
연구과제명	양돈장 악취저감을 위한 액비순환 운용 기술 및 분뇨처리 방식별 효과 규명			
주관연구기관	(주)에코바이론		주관연구책임자	강 구 상
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	825,000,000원	275,000,000원		1,100,000,000원
연구개발기간	2018.04.26. ~ 2020.12.31.			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
양돈장 액비순환 적용을 위한 시설 및 관리 조건 확립	액비순환시설 설계기술 개발 및 안정적인 액비생산 기술을 위한 필요조건들을 확립함. 돈사의 유형별로 액비순환방법을 ORP를 통해 판단하는 방법을 제시하였으나, 실제 적용하지 못하고 시스템 구상 그침.
돈사 액비 순환기술 매뉴얼화	각 협동기관의 연구자료를 바탕으로 액비순환시설의 액비상태 기준설정, 필수 설치요소 파악, 점검방법 마련, 경제성을 종합적으로 정리하여 매뉴얼화함.
분뇨처리 방식에 따른 악취저감 및 환경개선 효과 평가	액비 및 슬러리 시료분석, 액비순환시설 및 농가의 악취평가, 챔버실험을 계획대로 실시함. 특히 국내 상황으로 인해 현장조사 및 샘플채취에 어려움이 있었음에도 다른 방안을 강구하여 연구수행을 완료함.
분뇨처리 방식에 따른 생산성 개선 효과 및 경제성 평가	액비순환시설의 경제성 평가를 담당하여 분뇨처리방식별 농가조사를 빠짐없이 수행하였으며, 생산성 및 경제성을 대각도로 조사·평가함.

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	20	10		10		10	10							5	10	10		15		
최종목표	2	2		1		25	75				1	3		4	25	50	4	1		
연구기간내 달성실적	2	2		2		19	89					2		5	25	73	4	1		
달성율(%)	100	100		100		76	100				0	66		100	100	100	100	100		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	축산농가 악취제거 및 살균소독 기술개발
②	액비순환시스템 순환배관

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술						v	v	v		
②의 기술		v				v	v	v		
③의 기술										
⋮										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	차아염소산나트륨 분무시스템과 액비순환시스템을 결합하여 '축산농가 악취 제거 통합시스템'으로 구성하고, 차아염소산나트륨 산화처리와 나노분리막 처리를 결합하여 '차염처리 정화시스템'으로 구성함.
②의 기술	액비순환시스템의 슬러리배출 배관 및 액비순환 배관에 관한 기술. 액비순환시스템이 설치되는 신규 농가들에 설치할 예정.

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치	20	10		10		10	10							5	10	10		15	
최종목표	2	2		1		45	125				1	5		5	45	70	5	1	
연구기간내 달성실적	2	2		2		19	89					2		5	25	73	4	1	
연구종료 후 성과창출 계획						26					1	3		20		1			

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	축산농가 악취제거 및 살균소독 기술개발		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	직접실시	실용화예상시기 ³⁾	2019년
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	직접실시		

핵심기술명 ¹⁾	액비순환시스템 순환배관		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	8,400천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	직접실시	실용화예상시기 ³⁾	2020년
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	직접실시		

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
 통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

주 의

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