

317008-3

농생명산업기술개발사업 제3차 연도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003137-01

축사형태
및
분뇨처리
방법
등
농장처리장
특성을
고려한
악취저감
실용화
기술
개발
최종보고서

2020

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

축사형태 및 분뇨처리 방법 등 농장·처리장 특성을 고려한 악취저감 실용화 기술 개발 최종보고서

2020. 7. 10.

주관연구기관 / 축산환경관리원
협동연구기관 / 충남대학교
협동연구기관 / 상지대학교
협동연구기관 / 한국축산경제연구원

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

‘축사형태 및 분뇨처리 방법 등 농장·처리장 특성을 고려한 악취저감 실용화 기술 개발’
(연구개발 기간 : 2017. 4. 21. ~ 2019. 12. 31.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020 . 7 . 10 .

주관연구기관명 : 축산환경관리원 (대표자) 이영희 (인)

협동연구기관명 : 충남대학교산학협력단 (대표자) 김승범 (인)

협동연구기관명 : 상지대학교산학협력단 (대표자) 차영환 (인)

협동연구기관명 : 한국축산경제연구원 (대표자) 석희진 (인)

주관연구책임자 : 이영희

협동연구책임자 : 최동운

협동연구책임자 : 이명규

협동연구책임자 : 석희진

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 최종보고서 열람에 동의 합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	317008-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2017.4.21.~ 2019.12.31	단 계 구 분	(최종단계)/ (최종단계)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농업생명산업기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	축사형태 및 분뇨처리 방법 등 농장·처리장 특성을 고려한 악취저감 실용화 기술 개발			
연구책임자	이영희	해당단계 참여연구원 수	총: 42명 내부: 34명 외부: 8명	해당단계 연구개발비	정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 55명 내부: 47명 외부: 8명	총 연구개발비	정부:825,000천원 민간:275,000천원 계:1,100,000천원
연구기관명 및 소속부서명	축산환경관리원 충남대학교 상지대학교 한국축산경제연구원			참여기업명 스마트 제어계측 대성환경ENG	
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	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품중	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

본 연구는 축사형태와 분뇨수거방식을 고려한 축사 내·외부 적용 악취저감 기술 개발을 위해 돈사 내외부에 활용할 수 있는 기존 기술을 테스트베드 검증을 통해 악취저감 기술에 대한 효능 평가와 경제성 분석을 실시하였고, 검증된 결과를 바탕으로 기존의 악취저감기술(바이오커튼, 안개분무, 탈취탑)과 ICT 장비를 연계하여 실시간 악취를 측정하고 측정된 결과를 바탕으로 악취저감시설이 자동으로 운영될 수 있는 신기술을 제시하였으며, 축산농가 악취발생 정밀 조사를 통해 주요 악취물질 배출량을 평가하여 악취물질 배출계수를 DB화하였음. 또한, 가축분뇨 처리 방법에 따른 악취저감 방법 및 기술, 악취저감 개선 평가 프로그램의 지표를 개발하였으며, 연구결과를 바탕으로 축산농가에서 활용할 수 있는 악취적정관리 매뉴얼을 제작하여 농가에서 쉽게 활용할 수 있도록 제시

보고서 면수
266

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 축산악취물질 선정 및 축사형태(밀폐), 분뇨수거방식(슬러리, 액비순환식), 분뇨처리 방법에 따른 악취물질 배출계수 DB화 - 축사형태 및 분뇨수거방식을 고려한 축사 내·외부에 활용할 수 있는 기존 또는 신기술 개발 보급, 악취저감 기술평가 지표개발 및 경제성 평가 - 가축분뇨 처리방법에 따른 악취저감 방법 및 기술보급, 악취저감 개선 평가 프로그램의 지표개발과 운영평가 및 분석평가 - 축산농장의 악취 적정관리 매뉴얼 제작 및 보급 				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사 내·외부 적용 악취저감 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 돈사 내·외부에 활용할 수 있는 기존 또는 신기술 및 원형규모 테스트베드 검증을 통한 악취저감 실증 시스템 효능평가와 악취저감 기술별 경제성 분석 ○ 축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 축산악취물질 선정 및 무창돈사의 분뇨수거방식, 분뇨처리 방법에 따른 악취물질 배출계수 DB화 ○ 가축분뇨자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 가축분뇨 자원화 방법에 따른 악취저감 방법 및 기술, 악취저감 개선 평가 프로그램의 지표개발과 운영평가 및 분석평가 도출 ○ 축산농장 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리 매뉴얼 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 축산농장의 악취 적정관리 매뉴얼 제작 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축사 내·외부 적용 가능한 상용화된 악취저감기술과 ICT장비를 연계함으로써 효과적인 악취저감을 위한 신기술 제시 ○ 양돈 농가 대상으로 계절별, 축사형태별, 사육시기별 주요 악취물질 배출량을 제시함으로써 악취발생에 대한 기초자료로 활용 ○ 가축분뇨 자원화 방법에 따른 악취 평가 프로그램 제시로 시설별 악취저감 방법 및 효과 ○ 축산농장 대상 축산악취 적정 관리 매뉴얼을 제시함으로써 악취저감을 위한 자가관리 체계 마련 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>축산악취</p>	<p>악취물질</p>	<p>악취저감</p>	<p>매뉴얼</p>	
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Livestock odor</p>	<p>odorous compounds</p>	<p>odor reduction</p>	<p>manual</p>	

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

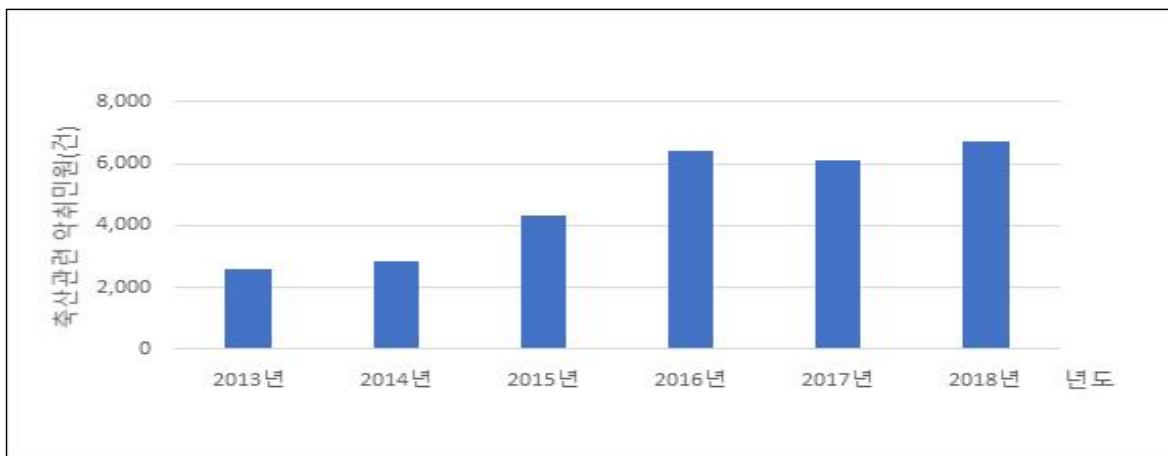
1. 연구개발과제의 개요	1
1.1 연구개발의 목적	1
1.2 연구개발의 필요성	5
1.3 연구개발의 범위	12
2. 연구수행 내용 및 결과	13
2.1. 축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사내-외부적용 악취저감기술 개발 ..	13
2-2. 축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가	56
2-3. 가축분뇨 자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감기술 개발 ...	114
2-4. 축산농장 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리매뉴얼제작 ..	174
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	263
3-1. 목표	263
3-2. 목표달성여부	264
3-3 차후대책(후속연구의 필요성 등)	265
4. 연구결과의 활용 계획 등	266
붙임. 참고 문헌	267

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 목적

- 축산업의 전업화 및 대규모화에 따른 가축사육두수 증가로 인해 대량으로 발생하는 가축분뇨 처리 문제를 해결하기 위한 목적으로 정부에서는 자연순환농업 활성화를 통한 가축분뇨 자원화를 지속적으로 추진하고 있음. 이러한 정부의 지속적인 자원화 노력으로 인해 가축분뇨 자원화율은 꾸준히 증가하고 있음에도 불구하고 축산분야 악취관련 민원은 '13년 2,604건에서 '18년 6,718건으로 연평균 약 23% 정도씩 증가하고 있음.
- 2005년 악취방지법 시행 이후에도 악취 민원은 꾸준히 증가하는 추세이며<그림 1>, 전체 악취 민원 중 축산악취 관련 민원은 축산시설이 약 27%를 차지하고 있음. 양돈장관련 민원의 59.7%는 양돈장 인근 1km 이내 지역에서 제기되고 있음(환경부, 2013,악취관리 정책방향).

< 연도별 악취민원 추이 >



<그림 1> 연도별 악취민원 발생현황

- 비위생적인 축사관리 및 부적절한 가축분뇨 관리는 악취뿐만 아니라 환경오염을 가중시키는 요인으로 지적되고 있음. 이로 인해 축산농가 인근 주민에 의한 민원발생이 잦아 축산에 대

한 부정적 인식이 확대되고 있음. 축산농가 인근 주민들의 빈번한 악취민원은 가축분뇨 자원화를 확대 보급함에 있어 걸림돌로 작용할 뿐만 아니라 전체 농림 생산액 중 축산분야 비중이 약 40%를 상회할 정도로 짧은 역사 속에서 지금까지 괄목할 만한 양적 성장을 거듭해 오고 있는 우리나라 축산업이 위축되는 단초가 될 수 있음.

- 국내 축사환경 특성상 주거시설과의 이격거리가 짧아 악취 민원이 상존하나, 악취저감을 위해 축사 1동당 평균 5천만 ~ 1억 원의 비용이 소요돼 농가 자체적으로 악취저감을 위한 시설을 설치하는데 많은 부담을 갖고 있음.
- 축산악취관련 문제가 최근 들어 심각하게 대두됨에 따라 정부 규제는 점차 강화될 수밖에 없으므로, 이에 따른 축산농가의 부담은 가중될 것으로 예상되며, 가축분뇨 관련 정책을 처리 위주에서 악취관리 위주로 패러다임을 전환하였으며, 국내 축산악취 해결을 위한 중·장기 대책을 마련한 바 있으나, 축산현장에서 발생하는 악취를 저감시킬 수 있는 안정적인 악취제어기술 개발이 미흡할 뿐만 아니라 악취를 종합적으로 관리하기 위한 법적·제도적 장치가 마련되지 않아 지속적으로 증가하고 있는 악취민원을 원천적으로 해소할 수 있는 기반이 조성돼 있지 않음.
- 국립축산과학원 및 축산환경관리원에서 축산농가 악취관리 기본 매뉴얼을 2016년 제작·보급한 바 있으나, 축사형태, 분뇨수거방식, 분뇨처리 방법 등에 따른 악취 원인물질의 발생 실태 및 배출계수 등과 관련된 자료는 포함하고 있지 않고, 육성/비육돈사를 대상으로 돈사에서 발생하는 악취물질 중 암모니아와 황화수소의 원단위를 산정하기 위한 연구가 수행된 바 있으나 축사의 형태 및 분뇨수거방식, 분뇨처리 방법을 고려한 결과를 제시하지는 못함(Kim et al., 2008; <표 1>).

<표 1> 돈사에서 발생하는 악취물질의 내부 농도 및 발생 원단위

측정 물질		평균 실내 농도	평균 발생량
가스상 물질	암모니아	8 ppm	340 mg h ⁻¹ m ⁻²
	황화수소	300 ppb	50 mg h ⁻¹ m ⁻²

자료 : Kim et al. (2008a; 2008b; 2008c)

- 우리나라 축산농가의 특성을 반영한 체계적인 악취저감 기술의 개발·보급 필요성이 대두되고 있으나 국내에서는 악취관리를 위해 기본적으로 요구되는 악취물질 발생계수를 산정하기 위한 연구가 축사 및 분뇨처리장 특성을 반영해 체계적으로 수행된 사례가 없고, 가축분뇨공동자원화시설의 악취포집 및 탈취시스템 시공사별 각각 상이한 발생예상농도를 적용하고 있음에도 불구하고 관련분야 既수행 연구가 불충분하여 정부차원에서 적절한 가축분뇨공동자원화시설 악취 발생예상농도 기준을 제시하지 못하고 있는 실정임. 특히, 우리나라의 악취 발생원인 구명을 위한 기초연구 및 악취제어 기초·원천기술을 포함한 관련 설비 생산기술 등은 아직까지 초보적인 수준(공동자원화센터 평가, 2013)
- 양돈장의 경우 개방식 돈사의 무창화 환기시스템 도입에 따른 경제성 분석 결과 가축비 절감,

방역치료비 절감, 소득증가액 등 6,389천원의 경영개선 효과를 얻을 수 있으며, 내용 년수(10년간) 기간 동안 양돈농가가 얻을 수 있는 경제적 효과는 52~43백만원으로 분석됨(국립축산과학원, 2009; 표 2,3).

<표 2> 무창화 환기시스템 도입 개선 효과(1동/330m²)

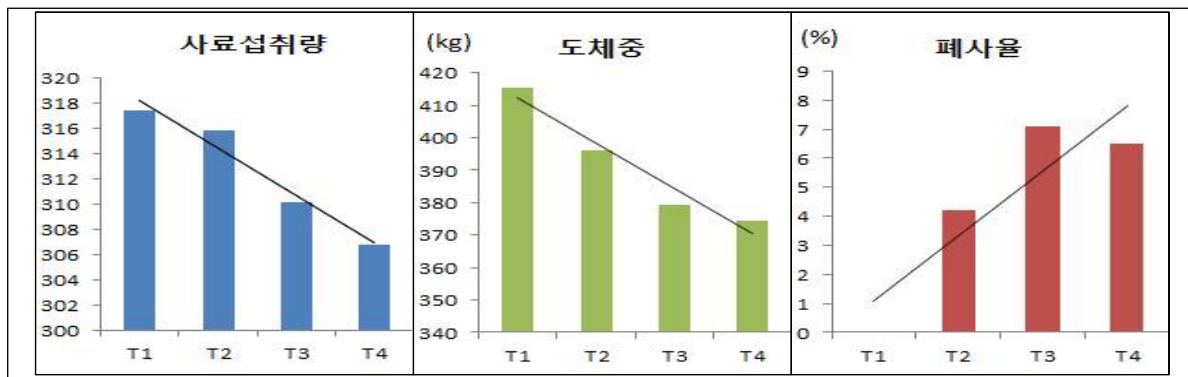
손실적 요소	이익적 요소
○ 증가되는 비용 : 2,000천원 - 외벽 등 설비시설 : 1,400천원 - 환풍기 등 기계시설 : 600천원 소 계 (B) : 2,000천원	○ 감소되는 비용 - 가축비 절감 : 4,900천원 (폐사율 개선 : 35두×140천원) - 방역 치료비 절감 : 1,538천원 (두당 절감액 3,846원×400두) ○ 증가되는 수입 - 소득 증가액 : 1,951천원 (두당소득: 55,756원×35두) 소 계 (A) : 8,389천원
추정 수익액(A-B) : 6,389천원	

※ 손익분기점 : 2.66년

<표 3> 순현재가치 평가(NPV)

구분	이자율(5%)	7%	10%
NPV	51,800	48,015	43,183

(단위 : 천원)



<그림 2> 돼지 사육밀도에 따른 생산성 변화

○ 돼지 사육밀도가 높아지면 사료섭취량 및 도체중이 감소하고 폐사율은 증가하는데 축산법 권장 면적의 110%에서의 소득은 축산법 권장면적의 80% 밀도로 사육할 때보다 소득과 순수익이 약 15% 개선효과가 있을 뿐만 아니라(국립축산과학원, 2017), 부가적으로 악취저감 효과도 볼 수 있음<그림 2>.

* T1(축산법 면적*1.1), T2(축산법 면적*1.0), T3(축산법 면적*0.9), T4(축산법 면적*0.8)

- 국립축산과학원(2012)은 돼지 슬러리의 저장기간이 경과함에 따라 악취에 영향을 미치는 인돌류의 농도가 증가하고 있어 2주이내로 저장기간을 단축하는 것을 권장함<표 4>.

<표 4> 돼지 슬러리의 저장기간별 인돌류 농도 변화

저장기간	0주	2주	4주	6주
인돌류	3.78	4.11	7.29	7.54

- 조 등(2013)은 육성돈에 대한 관행 수준(20%)의 단백질사료 급여 시 권장수준(15%) 보다 폐놀류 16%, 인돌류 55%, 이성체지방산이 117% 증가한 결과를 보였다고 하였음<표 5>.

<표 5> 육성돈 사료 단백질 수준별 슬러리의 폐놀류, 인돌류, 이성체지방산 농도 변화(PPM)

	단백질 수준(%)		
	저단백(15%)	권장(17.5%)	관행(20%)
폐놀류	23.74	23.67	27.47
인돌류	2.69	2.66	4.13
이성체지방산	129	154	280

- 유 등(2010)은 50톤의 돈분에 악취저감 미생물제제(Pseudomonas stuzerie)를 처리하고 30일 경과 후 악취 가스 감소율을 측정된 결과 미처리구에 비해 암모니아농도는 25% 황화수소 농도는 14.5%의 감소를 보였다고 하였고, 이(2011)는 돈사 악취저감용 미생물제제 적용 효과는 투여 후 4~5주가 경과하면 나타난다고 하였음<표 6>.

<표 6> 돈분내 미생물제제 첨가가 악취가스 감소에 미치는 영향

구 분	암모니아(ppm)	황화수소(ppb)
미처리	17.49	2.89
미생물제제	4.38	0.42

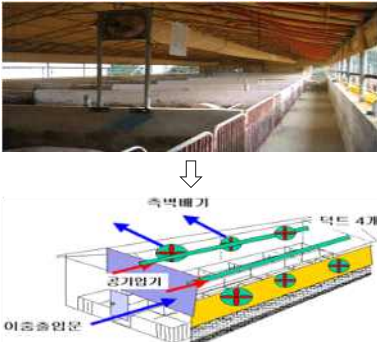
- 위와 같이 축산악취와 관련된 민원의 증가로 축산업에 대한 규제가 늘어나고 있는 시점에 효과적인 악취저감을 위해서는 다양한 기술 개발 및 연구가 이루어져야 함에도 축산물질의 배출 계수 및 기존의 악취저감기술에 대한 평가 등이 제한 적으로 이루어짐에 따라 본 연구에서는 농장 및 분뇨처리 형태별 악취물질 배출계수를 DB화하고, 내외부 악취저감시설에 대한 악취저감효과, 경제성에 대한 부분을 평가하여 검증된 악취기술 등을 활용한 악취관리에 적절한 매뉴얼을 제작하여 보급하기 위하여 추진

1-2. 연구개발의 필요성

가. 국내 시장현황

- 국내 축산악취 저감기술 시장은 환경오염관련 규제 강화 및 악취에 관한 국민의 인식전환으로 인해 지속적으로 확대 될 것으로 전망되나, 축산악취 저감시설의 운영비용 과다소요 및 운전·관리 어려움으로 인해 축산농가의 수요가 적어 국내시장이 확장되지는 못하고 있는 실정임.
- 양돈장에서 발생하는 악취를 저감시키기 위한 목적으로 국내 양돈농가에 설치·보급되고 있는 시설은 <표 7>에서 제시하는 시설이 대표적.

<표 7> 국내 양돈농가에 설치·보급된 악취저감 시설

기술개발 유형	기술특성
<p>개방식 돈사 리모델링 (무창돈사화)</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 개방식 돈사: 악취제어 곤란 - 무창돈사: 복도 덕트입기→축벽 배기 <ul style="list-style-type: none"> · 악취확산 억제 및 에너지 절감 · 축사환경개선 시범사업 전국 10개소('09)
<p>바이오필터를 이용한 무창돈사 악취저감</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 무창돈사 보급률: 약 51.3% - 바이오필터 증진재 : <ul style="list-style-type: none"> · 톱밥, 우드칩, 왕겨, 볏짚 등 - 바이오필터 효율: 70-85% 이상 저감 (국립축산과학원, 2006)
<p>무창돈사: 바이오커튼 + 이산화염소장치</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 무창돈사 외부에 바이오커튼 설치 - 바이오커튼 내부에 이산화염소 분무장치 설치 - 악취저감효율 <ul style="list-style-type: none"> · NH₃ 돈사내부 25ppm → 돈사외부 1ppm이하
<p>악취확산 방지벽 + 이산화염소장치</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 양돈농가 악취확산 방지벽: 폭 26m, 높이 5m - 이산화염소 분무: 새벽, 초저녁, 저기압 시 - 악취저감 효율: 부지경계 NH₃ 1ppm 이하

- 가축분뇨 처리시설에서 발생하는 악취를 저감시키기 위한 목적으로 국내에서 설치·보급되고 있는 시설은 습식세정시스템이 주를 이루고 있으나, 일부 현장에서 오존을 이용한 화학적 산화시스템을 사용하는 곳이 있기도 함<표 8>. 우리나라의 가축분뇨처리시설 악취포집 및 탈취시스템 운영·관리기술은 초보적 수준으로 시공사에서 판매·보급하고 있는 다양한 기술들을 전문가들이 체계적으로 평가·검증한 사례는 없음(농협중앙회, 2012).

<표 8> 국내 가축분뇨 공동자원화시설에 설치·보급된 악취저감 시설

기술개발 유형		기술특성
숙성액비 세정액 Bio-scrubber		<ul style="list-style-type: none"> - 질산화된 숙성액비를 이용한 세정 ·수용성 악취성분 제거함 ·세정폐액은 액비화조로 환원함 ·세정용 약액 구입비 절감효과
숙성액비 세정액 Bio-scrubber + Biofilter	 <p style="text-align: center;">세정탑 +</p>  <p style="text-align: center;">바이오필터</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 1차 처리: 질산화된 숙성액비를 이용한 세정 - 2차 처리: 비수용성 악취성분을 미생물을 이용해 처리함
약액 세정액 Bio-scrubber		<ul style="list-style-type: none"> - 약액 세정액 · 황산, 이산화염소 등 - 약액을 이용해 악취성분 세정효과 개선함 · 황산 세정액의 경우 황산암모늄을 액비화조로 환원함
약액 세정식 터널 탈취시스템	  <p style="text-align: center;">약액 세정액 터널식 탈취</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 토목구조용 터널식 탈취 · 초기 투자비 절감 · 터널식 탈취시스템 내 체류시간을 높여 처리효율을 개선함
오존산화방식 탈취시스템	 	<ul style="list-style-type: none"> - 오존 및 오존수를 이용해 단시간 (0.3초) 악취제거 - 탈취탑 내 여과재 충전없이 가동 가능

- 악취저감시설의 처리효율은 <표 9>와 같이 악취원인물질 유형, 악취저감 방법, 환경요인(온습도 등), 축사 규모 등의 다양한 요소들에 의해 영향을 받으므로 악취저감시설 설계·설치 시 전문가의 자문과정을 거치는 것이 바람직하나, 국내에서는 시공사 주도의 시스템 설계·설치 등이 많이 이루어지고 있어 시스템의 효율적 운영이 이루어지지 못하고 있음.

<표 9> 악취저감시설 시장의 특징

시장특징	내용
국제사회 규제	환경오염에 대한 국제사회 규제 강화
악취원인 제거	악취원인이 근본적으로 제거되어야 하며, 그렇지 않을 경우 제 2오염물질 생성
악취제거방법 선택	다양한 악취성분에 대한 제거효율성이 다양하여 성분별 악취제거 방법 선택
환경요인에 인한 효율성 영향	온도 습도 등 다양한 환경요인에 의해 악취제거 효율이 영향을 받음
축사규모에 따라 제거방법 다양	축사규모에 따라 악취제거 효율에 영향을 받으므로 규모 대비 악취 발생량 등 분석 필요

- 정부에서는 축산분야 악취관련 민원해소 및 축사 환경개선을 목적으로 광역축산악취개선사업을 2016년부터 추진하고 있어 축사 내·외부 및 분뇨처리장 악취저감 시설 시장의 수요가 증가될 것으로 예상됨.

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

- 미국의 경우 각 주마다 자체적으로 대기 중 악취 및 악취유발물질 항목과 그에 대한 제한 농도수준을 제시하고 있으며, 미네소타주의 경우 황화수소와 같은 개별 성분 농도규제를 실시하고 있음.
- 유럽 및 북미의 축산 선진국들은 10여 년 전부터 효과적인 제어 대책을 강구하기 위해 주로 돈사에서 발생하는 다양한 대기오염물질의 발생 원단위를 설정하는 기초 조사를 이미 완료했거나 수행 중에 있음.
- 국외 선행 연구를 분석한 결과 미국에서 수행된 실험의 슬러리 돈사의 암모니아 배출량은 평균적으로 114 - 143 mg/h·pig 발생하였고, 황화수소 발생량은 0.45 - 72.05 mg/h·pig로 다양한 범위의 발생량을 보임. 또한 유럽의 연구 결과에서 슬러리 돈사의 암모니아 배출량은 29.58 - 660.00 mg/h·pig의 범위를 보임. 기존 연구 자료에 의하면 국가별로 최대 약 6배의 배출량 차이를 보이는 것뿐만 아니라 유럽의 경우 연구 수행 시점 및 지역에 따라 20배가 넘는 차이를 보임. 돈사의 악취물질 배출량이 국가별로 큰 차이를 보임에 따라 우리나라에서도 국내 실정에 맞는 배출계수 산정이 필요함<표 10>.
- 계절적인 요인에 의해서도 악취발생정도가 다르기 때문에 배출계수 산정은 계절특성을 반영할 필요가 있음<표 11>.

<표 10> 돈사에서 발생하는 공기오염물질의 발생 원단위에 대한 국외 연구 결과

조사 물질	국가	돈사 유형	mg/h·pig ^a		mg/h·m ^{2b}		참고문헌
			Mean	Range	Mean	Range	
암모니아	미국	Slats	114.00	-	153.23	-	Heber et al., 2001
			142.84	-	191.91	-	Gay et al., 2003
	유럽	Slats	660.00	-	887.10	-	Demmers et al., 1999
			288.53	-	387.81	-	Eerden et al., 1981
			278.50	-	374.33	-	Oosthoek et al., 1991
			29.58	-	39.76	-	Aarnink et al., 1995
			102.70	-	138.04	-	Gastel et al., 1995
			208.33	-	280.02	-	Aarnink et al., 1996
			227.08	-	305.22	-	Aarnink et al., 1997
			375.00	-	504.03	-	Hinz and Linke, 1998
299.33	255 - 315	402.20	342.74 - 423.39	Koerkamp et al., 1998			
황화수소	미국	Slats	-	0.45 - 21.93	-	0.60 - 29.48	Heber et al., 1997
			39.38	-	52.92	-	Ni et al., 1999
			-	5.17 - 72.05	-	6.95 - 96.84	Ni et al., 2000b
			-	12.25 - 47.94	-	16.46 - 64.44	Zhu et al., 2000

^a Based on growing/finishing pig(75kg)

^b Assuming 0.744m² of floor area per pig

<표 11> 계절별 돈사에서 발생하는 공기오염물질의 발생 원단위에 대한 국외 연구 결과

조사 물질	국가	계절	돈사유형	Concentrations (ppm)	Ventilation Rate (m ³ sec ⁻¹)
암모니아	캐나다	가을 (16.1°C ~ -0.6°C)	Partially-slatted floors	3 ~ 11	1.4 ~ 16
			Fully-slatted floors	6 ~ 26	1.9 ~ 13.1
		겨울 (-0.6°C ~ -15.2°C)	Partially-slatted floors	13 ~ 33	0.7 ~ 3.5
			Fully-slatted floors	16 ~ 36	1.3 ~ 2.3
		봄 (-6.5°C ~ 9.8°C)	Partially-slatted floors	7 ~ 23	1.1 ~ 4
			Fully-slatted floors	12 ~ 23	1 ~ 5
여름 (16.1°C ~ 23.7°C)	Partially-slatted floors	5 ~ 14	5.7 ~ 14.9		
	Fully-slatted floors	7 ~ 20	5.4 ~ 14.9		
황화수소	캐나다	가을 (16.1°C ~ -0.6°C)	Partially-slatted floors	0.059 ~ 0.083	1.4 ~ 16
			Fully-slatted floors	0.093 ~ 0.305	1.9 ~ 13.1
		겨울 (-0.6°C ~ -15.2°C)	Partially-slatted floors	0.018 ~ 0.050	0.7 ~ 3.5
			Fully-slatted floors	0.017 ~ 0.050	1.3 ~ 2.3
		봄 (-6.5°C ~ 9.8°C)	Partially-slatted floors	0.017 ~ 0.365	1.1 ~ 4
			Fully-slatted floors	0.021 ~ 0.390	1 ~ 5
여름 (16.1°C ~ 23.7°C)	Partially-slatted floors	0.056 ~ 0.114	5.7 ~ 14.9		
	Fully-slatted floors	0.034 ~ 0.139	5.4 ~ 14.9		

연구 기간 : August 3, 2004 ~ July 5, 2005, 실험군 육성단계: Swine Growing - Finishing pig

참고문헌 : Gang Sun , Huiqing Guo & Jonathan Peterson., 2010

- 이와 더불어 국외에서는 악취저감을 위해 다양한 기술 개발을 추진하고 있고, 대표적인 사례로는 가축분뇨로부터 영양물질을 회수하는 과정에서 부수적인 악취저감 효과를 유도하는 기술로서 가축분뇨로부터 암모니아 회수 연구(2013. AT.Ukwuani. 등), 호기, 혐기소화액으로부터 막분리를 이용한 영양물질의 회수 연구(2013. M. Zhang 등) 등을 추진
- 특히, EU 등 선진국은 축사 및 환기시설과 연계한 악취저감 장치를 개발하고 있고(축산원 보고서, 2012). 실제 연구되고 있는 주요 기술을 정리하자면, 돈사주변의 Wind break, 우드칩, 오존을 활용한 연구가 진행되고 있음, Lin(2007)은 Wind break의 특성에 따라 악취는 22-26.5% 감소 가능하다고 제시. 우드칩을 재료로 한 바이오필터를 이용할 경우 악취는 88-95%, 암모니아는 64-93%, 황화수소는 9-66% 제거 가능함 (Sheridan, 2009) 음용수 소독 및 살균 혹은 공기정화를 위해 이용되던 오존을 축사내 악취를 저감하기 위한 목적으로 이용한 연구 사례가 보고된 바 있음(Kerr et al., 2008; Rumsey, 2010).
- 일본의 경우, 축산이 집약적으로 발전한 군마현, 사이타마현, 니가타현에서는 축산환경 문제 중 70~80%가 악취 민원으로 발생한다고 보고되고 있으며, 이에 따른 악취저감 방법 및 기술 평가로는 축종, 축사, 분뇨의 이동, 자원화 과정(퇴비화, 액비화), 자원화 공정(개방형 발효, 밀폐형 발효), 농지환원 등 자원화물의 운반 등으로 구분하여 악취 문제를 단계별로 대응하고 있음. 악취 저감 기술로서는 물리적 악취저감 기술(에어커튼, 복토기술, 방풍림 이용 기술 등) 및 기능성자재와 탈취자재를 이용한 악취저감 기술, 자원화 운영방식에 따른 악취저감 시스템 매뉴얼 등을 보고하고 있음. (축산악취 대책 매뉴얼, 2015. 군마현 축산 시험장/사이타마현 농림종합연구센터/ 니가타현 농업종합연구소)
- 악취는 분뇨의 발효, 허실 사료의 분해, 가축의 호흡과 소화, 피부로부터의 발산에 의해 발생하며(Korczynski 등, 2010), 악취발생량은 축종, 악취발생 형태, 축사시스템, 사료의 종류, 사양관리 방법, 분뇨저장 및 처리방법, 기후조건 등에 따라 달라지지만 Hardwick(1985)은 악취의 배출장소별 기여도는 축사 30%, 분뇨처리장 20%, 살포지 10%라고 구분 지었음.
- Sutton(2008)은 양돈사양에 있어 악취저감을 위한 종합적 사양관리 개선방법을 제시하였는데 육성비육돈 사료를 성장단계에 따라 한 가지에서 세 가지로 증가시켜 주면 분으로 배설되는 질소량과 암모니아 발생량을 각각 15%, 17% 감소할 수 있고 두 가지에서 세 가지 또는 네 가지로 증가시켜 주면 질소 배설량을 5~8% 감소할 수 있으며, 액상사료 급이(물 3: 사료 1)는 다단계 사양도 가능하게 하고 축사내 먼지발생량을 감소시켜 악취발생량은 23~31%까지 감소할 수 있음.
- 결론적으로 사료이용율 증가에 의한 분배설량 감소, 돼지의 품종에 적합한 사료배합, 다단계사양프로그램 적용, 성별분리 사육, 사료허실 방지, 사료가공처리 등을 종합적으로 적용하면 추가적인 비용의 증가가 거의 없이 암모니아와 황화수소 발생량을 30~50%까지 감소할 수 있으며, 악취발생량을 30%까지 감소할 수 있다고 하였음.
- Kempen와 Heugten(2001)은 육성비육돈 사료를 한 가지에서 2가지로 증가시켰을 때 질소배설량을 13%까지 감소시킬 수 있었고 세가지로 증가시키면 17.5% 감소할 수 있다고 하였고 이러한 다단계 사양은 사료비 절감에도 기여한다고 하였음.

- 기타 대표적인 연구로는 Peet-Schwering(1997)은 단백질 함량 1% 감소 시 분중 질소배설량과 암모니아 함량은 10% 감소된다고 보고하였고, Hobbs et al. (1996) 및 Kerr et al. (2006)은 아미노산을 보충한 저단백질 식이요법이 성장단계 및 출하돼지의 분내 악취성분 농도를 감소시켰다고 발표한바 있음. Leek et al. (2007) 및 Le et al. (2008)는 식이FC와 CP의 균형은 냄새 생성과 배출에 중요한 역할을 한다고 하였으며, Mc Alpine et al. (2012)는 xilanas가 분뇨내 악취배출을 효과적으로 감소시킨다고 하였으나, 프로테아제(단백질 분해 효소) 급여는 악취 배출에 영향을 미치지 않았다고 하였으며, Mroz 등(1996)은 기존의 석회석을 대신한 칼슘염(칼슘벤조산, 칼슘클로라이드)을 적용했을 때 암모니아 발생량은 각각 33%, 54%까지 감소할 수 있다고 하였음.

다. 국내와 국외 기술 수준 비교

- 축산선진국은 지속적인 기초연구를 통해 다양한 형태의 양돈장 및 분뇨처리장 악취저감기술을 보유하고 있으며, 실규모 현장적용을 통해 악취저감 효율을 개선할 수 있는 운전기술을 확보하고 있음. 우리나라의 경우 국외에서 개발된 기술들을 일부 변형해 도입한 시스템들이 주를 이루고 있어 악취저감 기초기술은 축산선진국에 비해 매우 미흡한 실정임<표 12>.

<표 12> 한국과 기술선진국 간의 축산분야 악취관련 연구현황 비교

구 분		분 야	선진국대비 기술수준	한 국	기 술 선 진 국
양돈장 악취저감기술	기술수준	공정개발 수준	30%	· 초기 연구단계	· 실규모 현장적용
		기술개발 방향	-	· 개방형 돈사의 무창돈사화 · 바이오필터, 바이오커튼, 이산화염소장치 등을 도입하고 있으나 설치농가 비율은 매우 낮음	· 바이오필터, 바이오커튼, 악취확산 방지벽, 배기팬 습식스크러버 등 현장적용
		운전 기술	30%	· 기초기술 보유 미흡 (대부분 국외에서 개발된 기술들을 일부 변형해 도입함)	· 실 규모 현장 노하우 보유 · 지속적 기초연구 수행
	단계	-----		도입기	성장기
		기초연구		10 %	70 %
	연구기반	개발응용		30 %	70 %
		현장실증		5 %	70 %
공동자원화시설 악취저감기술	기술수준	공정개발 수준	80%	· 실 규모 현장적용	· 실 규모 현장적용
		기술개발 방향	-	· 숙성액비 및 약액 세정식 탈취탑 단독 운영 · 숙성액비 및 약액 세정식 탈취탑과 바이오필터 연계 · 오존 산화방식 탈취탑	· 약액 세정식 탈취 및 바이오필터 활용
		운전 기술	45%	· 실 규모 현장시공 기술은 보유하고 있으나 체계적인 운전기술 개발은 이루어지지 않고 있음	· 실 규모 현장 노하우 보유 · 지속적 기초연구 수행
	단계	-----		성장기	성장기
		기초연구		10%	80%
	연구기반	개발응용		80%	80%
		현장실증		80%	70%

라. 연구 개발의 중요성

- 우리나라 무창돈사의 분뇨 수거방식, 분뇨처리 방법 등의 특성을 반영한 악취물질 배출계수는 축산악취관리 기술설계, 지원사업기획, 정책수립 시 기초자료로서 활용 가치가 매우 높음. 악취물질 배출계수는 악취저감시설 처리용량 산정 기준 및 효율 평가 기준으로 활용될 수 있어 농식품에서 추진하고 있는 광역축산악취개선사업 대상농가 악취저감시설 설계 및 악취저감 효율 평가의 신뢰성을 높일 수 있음.
- 기존에 설치된 악취방지시설은 복잡하고, 운영비(전기세, 약품비, 바이오필터, 충전제 교체 등)가 고비용으로 축산농가는 설치 후에도 방치하거나 설치를 기피하는 실정임. 이번 연구에서는 악취방지시설이 단순하여 운전이 쉬우며, 최소의 비용으로 최대의 효과를 낼 수 있는 모델 개발이 중요함.
- 국내 양돈 시설은 지속적으로 대규모화와 밀집사육을 통해 생산성 향상을 이루어 왔으나 비위생적인 축사관리 및 부적절한 가축분뇨 관리는 악취뿐만 아니라 환경오염을 가중시키는 요인으로 지적되고 있음. 이로 인해 축산농가 인근 주민에 의한 민원발생이 잦아 축산업에 대한 부정적 인식이 확대되고 있음. 축산악취관련 문제가 최근 들어 심각하게 대두됨에 따라 정부 규제는 점차 강화될 수밖에 없으므로, 이에 따른 축산농가의 부담은 가중될 것으로 예상됨. 특히 농장단위의 가축 사육단계뿐만 아니라 가축분뇨 자원화에 있어 다양한 공정별(퇴비화, 액비화)·형태별 악취 원인물질과 농도 등을 규명하고 각 단계에 따른 최적화된 악취저감 프로그램을 구축하는 동시에 악취저감 방법과 기술 그리고 개선 평가가 시급한 실정임.
- 농림축산식품부(2017)에서는 많은 축산농장의 축사내 가축분뇨가 조기에 처리되지 않아 피트내 축적되어 있고 사료를 과잉공급하여 남은 사료가 부패되고 있으며 악취저감제제의 활용이 미흡한 실정에서 퇴액비화 시설은 개방되어 축산악취가 지역 환경오염의 주범으로 인식되고 있는 상황을 해결하기 위해 '중장기 깨끗한 축산환경 조성 대책'을 마련하여 2025년까지 1만 개의 깨끗한 축산농장 조성을 추진할 계획임.
- 국립축산과학원(2016)에서는 섭취한 질소의 70%가 분뇨로 배출되고 이중 57%가 돈사 피트내 존재하고 13%가 돈사내에서 휘산된다고 하였음. 57%의 돈사피트 질소는 분뇨처리장 및 액비살포 시 18%가 휘산되고 농경지에 39%가 환원된다고 하였음 또한 악취 저감을 위한 사료관리방법으로 저단백질 사료, 습식사료, 발효사료 급여를 권장하였고, 축사 내부관리로는 돈사내부 청소, 충분한 사육면적 확보, 가축분뇨 저장기간 단축, 발효액비 재순환을 권장하였음.
- 축산농장의 분뇨 처리시설 및 기술의 미흡, 분뇨의 장기관 보관 등에 따라 악취가 발생함.
 - 사료 과다 급여, 돈사 내 분뇨 장기 보관, 저장조 오픈, 악취방지 시설 미구비 및 기술 미흡, 악취관리 매뉴얼 부재, 농장주 또는 관리자의 인식 부족 등이 악취 발생의 주요 원인
 - 악취저감 시설과 장비를 구비하고 있는 농가도 전기료 등 비용 부담을 이유로 가동하지 않음.
- 축사에서부터 분뇨처리장까지 악취 발생의 주요원인(물리적, 화학적)을 진단하고 효율적으로 관리하여 악취를 저감하기 위한 기술개발 및 매뉴얼 제작이 필요함.

1-3. 연구개발의 범위

- 축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사 내·외부 적용 악취저감 기술을 개발
 - 돈사 내·외부 축산악취저감기술 현황조사(국내외 문헌 조사 및 자료수집), 광역축산악취개선 사업 대상농가(무창돈사) 선정(테스트 베드)
 - 돈사 내·외부 악취저감시설 효능 평가하고, 악취저감시설 초기투자 비용·운영비 대비 악취저감 효율 분석
 - 돈사 내·외부에 악취저감시설별 효능 평가 및 경제성 분석 결과를 도출하여, 돈사 내·외부 실증 시스템 활용기술 보급 및 경제성을 고려한 기술 개발

- 축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가
 - 주요 관리대상 축산악취물질 배출계수 문헌조사 및 악취발생 정밀평가 시스템 구축, 악취발생 정밀 실태조사 대상 농가 선정
 - 주요 관리대상 악취물질 발생 실태조사(축사 및 분뇨처리장)
 - 주요 관리대상 축산악취물질 발생에 대한 실태조사를 추진하여 악취물질 선정하고 악취물질 배출계수를 DB화하여 개방형 돈사 배출계수 설정기법 구축

- 가축분뇨자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감 기술 개발
 - 양돈분뇨의 수거, 저장 및 고액분리 등 전처리 단계의 분뇨 성상(고상, 액상)에 악취저감 방법 및 기술 평가
 - 농가단위 분뇨의 수거·전처리 단계 별 악취저감 방법 및 기술 평가지표의 S/W 관리 매뉴얼 제시
 - 고상퇴비화 시설 대상의 분뇨처리공정의 단계별 악취저감 방법 및 기술 평가
 - 농가단위 가축분뇨처리와 외부 위탁처리에 대한 분뇨처리공정 단계별 악취저감 방법 및 평가지표의 S/W관리매뉴얼 제시
 - 액상발효화 시설 대상의 분뇨처리공정의 단계별 악취저감 방법 및 기술 평가
 - 농가단위 가축분뇨처리와 외부 위탁처리에 대한 분뇨처리공정 단계별 악취저감 방법 및 평가지표의 S/W관리매뉴얼 제시
 - 광역축산 악취개선 사업 대상 농가를 활용한 원형규모 현장 테스트 베드 검증
 - 농가단위 분뇨처리장의 기존 악취저감 기술의 대한 평가적용 및 상용기술의 최적 구성검증
 - 가축분뇨 자원화 방법에 따른 악취저감 방법 및 기술, 악취저감 개선 평가 프로그램의 S/W 관리 매뉴얼 제시
 - 악취저감 방법 및 기술, 악취저감 개선 평가 프로그램의 운영평가 및 분석평가 도출, 기술의 보급

- 축산농가 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리 매뉴얼 제작
 - 축사 및 분뇨처리장의 악취발생 요인별 현장자료 수집(축사 및 분뇨처리장 악취발생 요인 및 제어방법 등에 대한 해외자료를 분석하고 축사 및 분뇨처리장 실태조사를 통해 자료를 수집)
 - 축사 및 분뇨처리장의 악취발생 요인별 기여도 평가 및 관리기준(안) 제시

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사내·외부 적용 악취저감기술 개발

가. 돈사 내·외부 축산악취저감기술 현황조사(문헌 및 자료조사)

- 일반적으로 악취를 제거하는 방법은 수중에 용존된 악취물질을 제거하거나, 수중으로부터 분리된 악취를 기체 상태에서 제거하는 방법으로 나눌 수 있음<표 13>.
- 현재 국내 양돈시설에 적용된 기술은 주로 Gas 상태의 악취물질을 대상으로 한 기술이 주종을 이루고 있으며 분뇨의 악취물질을 직접 제거하는 방법으로는 미생물제제나 생균제, 효소제 등이 주로 사용되고 있으며 산화제법이나 pH 조절법도 사용되고 있음.

<표 13> 악취의 처리 원리별 제거방법 (1)

수중유취 물질제거 방법	직접 처리 방법	물리적 방법	·흡착법, 냉각법, 희석법	
		화학적 방법	·산화제법, pH조절법	
수중유취 물질제거 방법	생물학적 방법	·활성 Sludge법, 토양흡착법		
		간접 처리 방법	물리적 방법	·수중에 불활성 Gas 유입방법 ·공기중에 유취수 살포방법 ·탈기유치(Gas포집) 방법
Gas 상태의 악취물질 제거방법	물리적 방법	수세법	·분무법, 단탑법, 충전법, 기포탑법 등	
		흡착법	·활성탑법, Zeolite법	
		냉각응축법	·응축법	
		공기희석법	·악취를 대량의 공기에 희석하는 방법 ·배출구에서 대기로 희석하는 방법	
Gas 상태의 악취물질 제거방법	화학적 방법	화학산화법	·기체상태의 산화제 이용법(오존 염소가스, 이산화염소 등) ·액체상태의 산화제 이용법(차아염소산나트륨, 차아취소산나트륨, 과망간산칼륨, 과산화수소 용액 등)	
		약액세정법	·산 용액법(황산, 염산 등) ·알카리 용액법(NaOH, 석회 등)	
		화학적 흡착법	·이온교환 수지법 ·염기성 가스 흡착제법(Surfon화, 석회 등) ·산성가스 흡착제법(황화철, 수산화철, 염화철 등)	
		연소탈취법	·직접연소 탈취법 ·촉매연소법	
		중화제등에 의한 법	·중화제 이용법(식물정유) ·위장제 이용법(Masking제) 등	

*박 외 1, 1992, 악취의 제거방법 및 기술동향

<표 14> 국내에 활용하고 있는 악취제거기술 (2)

Gas 상태의 악취물질 제거방법	생물 학적 방법	토양탈취 방식	·Soil Filter법(토양균을 이용) ·Compost법(숙성한 비료중의 미생물 이용)
		활성오니 방식	·활성오니균을 이용한 Scrubber형 탈취법 ·활성오니균을 이용한 폭기조 탈취법 ·섬유질 이탄, 부식토와 톱밥을 이용한 Bio Filter 탈취법
		효소제 방식	·효소제 이용법(탈취제, 소화촉진제 등)
		기타 방법	·지렁이 분립을 이용한 탈취법 ·살수여상에 의한 탈취법

*박 외 1, 1992, 악취의 제거방법 및 기술동향

- 선행 연구되었던 축산분야에 적용되고 있는 악취저감기술은 <표 14>와 같으며, 축산분야에서 적용되고 있는 악취저감기술 중 축사내부에 적용되고 있는 기술은 미생물 급여, 미생물 살포, 수세(슬러리 배출), 먼지 청소, 시설 밀폐화(환기)로 구분할 수 있으며, 축사 내·외부에 적용되고 있는 기술은 바이오필터, 이산화염소, 오존, 플라즈마, 기타 방향제를 활용하는 기술로 구분.

<표 15> 선행조사된 축산분야에 활용되고 있는 축산악취저감기술

구분		축사		자원화시설	
		내부	외부	퇴비화	액비화
생물학적	미생물 급여	○			
	미생물 살포	○			
	바이오필터		○		○
	공기주입(폭기)			○	○
물리적	수세(슬러리 배출)	○			
	먼지 청소	○			
	시설 밀폐화(환기)	○		○	○
	바이오커튼, 물수세		○		
화학적	이산화염소		○	○	○
	오존, 플라즈마		○	○	
	기타 방향제		○		

- <표 14>에서 언급한 축산축사내부에 적용되는 기술을 축사 내부와 외부로 구분하여 살펴보면 <표 15>와 같음.

<표 16> 선행조사된 축산분야에 활용되고 있는 축산악취저감기술 분류

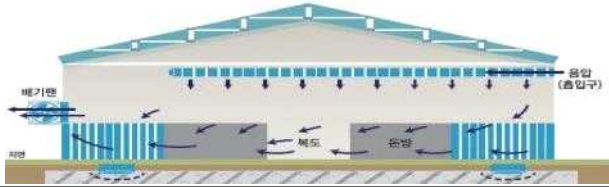
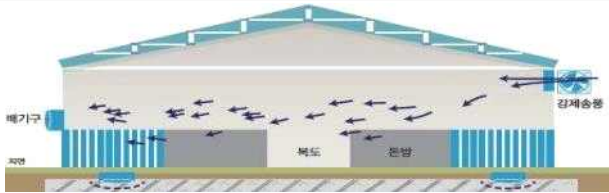
악취저감기술		탈취 효과	운전 비용	문제점	비고
내부 기술	미생물 급여	△	○	미생물 비용	축사 내부
	미생물 살포	△	○	미생물 비용	
	수세(슬러리 배출)	○	△	폐수처리	축사 내부
	먼지 청소	△	△	실행의 어려움	
	시설 밀폐화(환기)	△	○	비용과다	시설
외부 기술	바이오커튼	○	○	단독 악취저감에 미비	축사 외부
	이산화염소	○	○	이용비용 과다	퇴비장
	오존, 플라즈마	○	○	농도조절 필요	

- 국내 축산악취저감기술 시장은 환경오염관련 규제 강화 및 악취에 관한 국민의 인식전환으로 인해 지속적으로 확대 될 것으로 전망되나, 축산악취저감시설의 운영비용 과다소요 및 운전·관리 어려움으로 인해 축산농가의 수요가 적어 국내시장이 확장되지는 못하고 있는 실정임.
- 양돈장에서 발생하는 악취를 저감시키기 위한 목적으로 국내 양돈농가에 설치·보급되고 있는 시설은 개방식 돈사 무창돈사화, 무창돈사 바이오필터 부착, 바이오커튼과 이산화염소장치 연계시스템, 악취확산 방지벽과 이산화염소장치 연계시스템 등이 활용

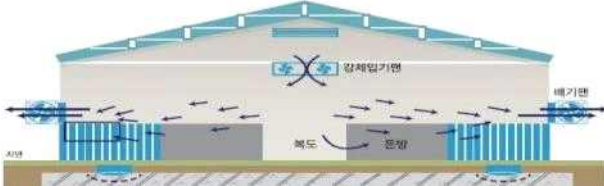
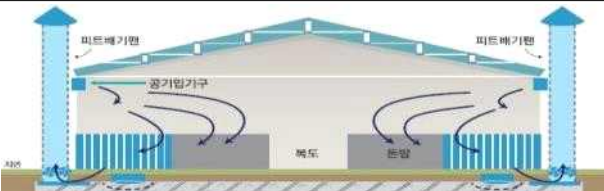
1) 무창돈사 내부의 활용기술 국내 현황조사

- 돈사 환기
 - 돈사환기는 실내의 오염된 공기를 외부로 배출하고, 신선한 공기를 유입하며, 여름철과 같은 고온시기에 온도를 낮춰주는 역할과 습도를 조절하여 쾌적한 조건을 만들어주는 역할(축산환경관리원, 2017, 축산악취 관리 실용사례).

<표 17> 돈사 환기의 종류 (1)

환기 시스템	내 용	
음압 (陰壓)	· 돈사 내 공기압을 음압으로 만들어 공기가 유입되고 배기팬으로 배출	
	장점	공기유입량 조절을 위한 입기구 단면의 변형이 용이하고 비용이 저렴
	단점	틈이 많은 돈사는 공기의 흐름을 제어하기 어려움
		
양압 (陽壓)	· 돈사 내로 공기를 강제를 강제 유입시켜 배기구로 배출시키는 방식	
	장점	돈사의 지붕 밑 따뜻한 공기를 이용할 수 있음
	단점	사육밀도가 높은 공간에서는 온도 조절이 용이하지 않으며 밀폐 정도에 따라 응결수가 발생할 수 있고 환기효율이 낮음
		

<표 18> 돈사 환기의 종류 (2)

환기 시스템	내 용	
등압 (等壓) 절충형	· 돈사 내를 양압으로 만들고 동시에 팬을 사용하여 강제 배기 시키는 방식	
	장점	돈사 내 공기흐름이 빠르고 환기 효율이 좋음 (사육밀도가 높은 곳에서 활용도 높음) 돈사 내의 압력 상태를 임의로 조성할 수 있으며 송풍량 손실이 적음 (환기와 난방의 결합이 용이)
		
피트배기	· 돈방 바닥아래 피트 부위로 배기하는 방식	
	장점	분뇨에서 발생하는 악취를 줄이고 바닥면의 보온과 건조에 좋음 (겨울철 돈사 내 공기흐름을 유지해 줌)
	단점	슬랏의 비중이 높아야 효율적이며 공기가 직접적으로 돼지에 닿아 사양방식에 따라 호흡호가 나뉠 수 있음
		

○ 미생물 환경개선제

- 미생물 환경개선제를 급여하면 돼지 장내에 낙산 또는 아세트산을 생산하여 장내 pH를 낮춰 줌으로써 유해 병원균의 번식을 억제하고 돼지의 성장률과 사료 소화효율에 도움을 줌.
- 결과적으로 소화능력이 개선되어 돼지 분뇨에서 암모니아, 황화수소 및 휘발성 저급지방산 등 악취물질 발생량을 감소하는 효과가 있음.(축산과학원, 2017, 축산냄새 이렇게 잡아라)



<표 19> 미생물 환경개선제 종류

	<p>장내 부패균의 생육 억제 및 사료소화 효소 생산 촉진</p>		<p>단백질 및 전분 분해효소 생산으로 축사악취 경감효과</p>
	<p>사료의 기호성을 향상시키고 우수한 영양성분으로 작용</p>		<p>여러 종류의 효소생산으로 사료 이용성을 촉진</p>
<p>유산균</p>		<p>바실러스</p>	
<p>효모</p>		<p>곰팡이</p>	

○ 돈사 내 안개분무

- 돈사 내 주요 악취성분인 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S)는 물에 잘 녹는 성분으로 돈사 내에 물을 분사해주는 것만으로 악취를 줄이는 효과가 있고 악취를 분해하는 약품을 혼합해 사용하면 더욱 좋은 효과를 기대할 수 있음.
- 또한 돈사 내에서 발생하는 악취는 대부분 먼지와 결합해 확산되고, 이는 가축의 호흡기로 유입돼 질병을 유발하기 때문에 돈사 내 안개분무 시설은 습도와 온도관리를 간편하게 할 수 있으나 노즐 막힘 등에 대한 관리가 필요함.

<표 20> 돈사 내 안개분무 사용사례

	<p>- [충북 음성 U농장] 농업기술센터에서 공급하는 미생물제를 이용하여 돈사 내 안개분무 * 고초균(바실러스), 광학성균, 질화세균을 1:2:2로 혼합살포</p>
	<p>- [축산환경관리원-축산악취 관리 지침서] 돈사 내 미생물 분무 활용방법 * 미생물 배합비율(고초균(1), 광합성균(2)), * 혼합된 배양액을 300~400배로 희석 축사 내 살포 * 슬러리 100평당 5ℓ</p>
<p>충북 음성 U 농장</p>	
<p>고성 D 농장</p>	

○ 액비순환 시스템

- 양돈장에 적용되는 액비순환시스템은 돈사 환경개선, 액비화 처리 및 악취저감 등 다목적으로 활용되며 액비화 처리를 위한 발효과정과 발효액비의 돈사 내·외부 순환과정으로 구성됨.
- 돼지가 배설한 분뇨가 혼합된 형태인 슬러리를 호기성 액비화 처리 후 그 액비의 일부를 돈사 하부 분뇨 피트로 투입하면 피트 내에 있는 슬러리와 혼합되어 돈사 밖으로 배출되고 유

- 량조절, 폭기처리 및 혐기처리 등 여러단계의 액비화 처리과정을 거쳐 액비저장조에 저장됨.
- 순환을 위한 순환액비는 따로 저장과정을 거친 후 돈사내 슬러리 피트로 순환되는 과정을 계속 반복하게 됨(하 외 1, 2015, 액비순환시스템의 양돈장 악취저감 효과).
 - 액비순환시스템을 적용하게 되면 슬러리피트에 미생물로 우점화된 액비가 지속적으로 유입됨으로써 피트 하부에 분뇨의 혐기발효가 억제되어 악취유발 공저의 감소로 양돈장 전체 악취발생을 크게 줄일 수 있으며, 그 외에 폐사율 감소, 출하일수 단축, 시설 유지비용 절감 등의 부수적 이익을 얻을 수 있음(한국환경공단 악취관리센터, 2014, 업종별 악취관리 사례집).

<표 21> 액비순환시스템

- 슬러리를 고액분리와 호기발효를 거쳐 냄새가 적은 발효액비로 생산한 후, 돈사 피트로 재순환시켜 피트 내 슬러리가 부패되기 전에 신속 배출하여 냄새물질 발생을 근원적으로 차단
- * 돈분뇨와 발효액비를 3:7로 혼합 후 3주 경과 시 냄새물질 변화



영천 S 농장 (액비순환시스템 배관연결 사진)



액비순환시스템 구조

○ 소취관

- 농장내 메인 급수탱크 앞 또는 뒷부분 배관을 잘라서 설치된 소취관을 통과한 기능수화된 물을 축사내 음수 또는 분무, 세척함으로써 돈사 내 악취를 감소시키는 한편, 가축체내 소화를 촉진하여 악취의 근원인 암모니아태 질소를 악취와 상관없는 형태로 변형

<표 22> 소취관 설치 사진



소취관

- 설치사례 : 전국 60여개 (평택 13개소, 양주 22개소)
- 소취관에 의해 기능수화된 물이 축사내 세척이나 돼지의 소화작용을 거친 뒤 배출되면서 유기성물질의 분해를 촉진시키고 분뇨의 배출량을 크게 감소시키는 한편, 분뇨의 숙성촉진 작용으로 분뇨에 의한 악취도 감소시킴

2) 무창돈사 외부의 활용기술 국내 현황조사

○ 바이오필터

- 돈사 배기팬으로 배출되는 냄새를 막기 위해 측벽 및 배기구에 설치하는 생물여과장치로 냄새 탈취균(미생물)이 살아가는 충전재(바이오차, 우드칩, 톱밥, 왕겨 등)를 통과하여 냄새를 제거
- 돈사에서 사용하는 바이오필터는 적은 공간에서의 흡입을 통한 악취저감 효과는 있으나 규모가 큰 곳에서는 흡입율이 낮음.
- 무창돈사의 경우 대부분 측벽 또는 상부의 환기시설에서 배출되는 악취물질에 의해 오염이 유발되므로 배출되는 악취공기는 악취발지시설에 의해 처리가 가능함.(한국환경공단 악취관리센터, 2014 업종별 악취관리 사례집)

<표 23> 바이오필터 설치사진



바이오필터(고성 C농장)

- 돈사 배기팬으로 배출되는 냄새를 막기 위해 측벽 및 피트 배기구에 설치하는 생물여과장치로 냄새 탈취균(미생물)이 살아가는 충전재(우드칩 등)을 통과시켜 냄새를 제거

○ 바이오커튼

- 측벽배기를 하는 무창돈사에 반쪽하우스 형태의 파이프 구조에 차광막처럼 된 커버를 씌워 돈사내에 배출되는 먼지와 악취를 화학적 특성을 이용해 중화, 희석 등의 방법으로 악취의 확산을 줄이도록 하는 방법
- 일반적으로 바이오커튼 내부에 사용되는 물질은 물, 이산화염소, 오존수, OH라디칼, 기타 미생물제, 마스킹제 등을 혼합하여 사용함.

<표 24> 바이오커튼 설치사진



바이오커튼(천안 C농장)

- 돈사에서 배출되는 냄새물질을 포함한 분진이 바람에 확산되는 것을 막기 위한 차광막(2~3겹)
- * 배기팬의 공기 저항을 줄이기 위해 축사 측벽 상부를 5~10cm 떨어뜨려 설치
- * 차광막 내부에 이산화염소나 물(오존수 등) 분무시 냄새 저감 효율을 증진

○ 스크리버(세정탑)

- 세정수를 순환하여 공기 중에 있는 분진과 냄새물질을 제거한 후 배출하는 시스템으로 세정탑 상단에서 노즐을 통해 분사시켜 물과 악취가스의 기액접촉에 의해 흡수시켜 처리함.
- 분노처리장 액비발효시 발생하는 암모니아, 황화수소를 포집하여 제거(내장된 셀구조를 통한 물 분사 및 필터링장치가 주특징)
- 약품 주입시 악취저감 효율이 우수하며 운전방법이 간단하지만, 설치비가 고가이며 정기적 폐수처리 필요(한국환경공단 악취관리센터, 2014, 업종별 악취관리 사례집)

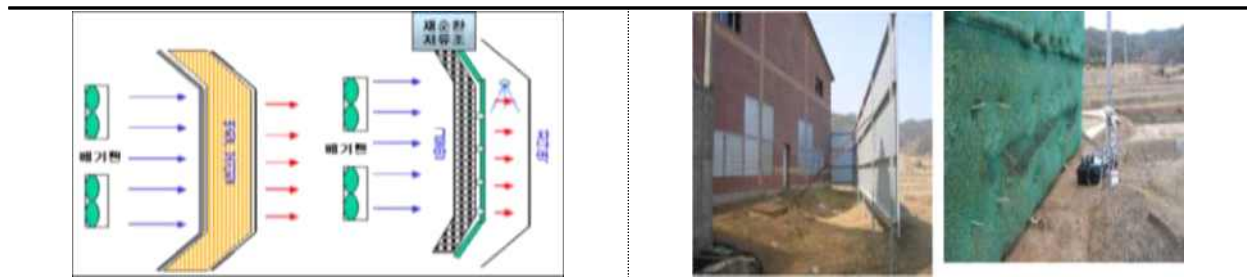
<표 25> 스크러버(세정탑)

 <p>스크러버(자료사진)</p>	<p>산 스크러버</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 돈사 냄새물질 중 농도가 높은 암모니아, 아민이 산에 잘 용해되는 성질을 이용하여 흡수시켜 제거하는 방법으로 주로 황산을 사용
 <p>포집형 탈취탑</p>	<p>바이오 스크러버</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 냄새물질을 세정탑으로 통과시켜 오염물질을 물에 흡수시킨 후 용해된 오염물질을 포함하는 물을 폭기조에서 미생물의 활동에 의해 제거
	<p>바이오 트리클링 필터</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오필터와 바이오스크러버가 혼합된 형태로 분무되는 세정수로 오염물질을 흡수시킨 후 고정 미생물 담체에서 제거

○ 방풍벽

- 방풍벽은 축사에서 배출되는 악취의 확산을 차단하는 원리이며, 방풍벽을 배출구의 일정한 이격거리를 유지하여 설치하고(이, 2010), 설치 시에 먼지와 악취물질이 여과되기 위해 여과막 등을 설치하는 것도 효율적이며, 단지 방풍벽의 효과보다 더욱 악취저감의 효과를 크게 보기 위해서는 물 분무를 추가로 설치하면 더욱 악취저감에 효과적으로 볼 수 있을 것이다. Bottcher 등(2000)의 연구에서 돈사로부터 발생하는 악취와 먼지농도를 줄이기 위해 방풍벽을 설치하여 주위 민가에서 느끼는 악취를 줄일 수 있다고 보고되고 있음.

<표 26> 방풍벽 원리 및 설치사진



3) 국외 활용기술 현황조사


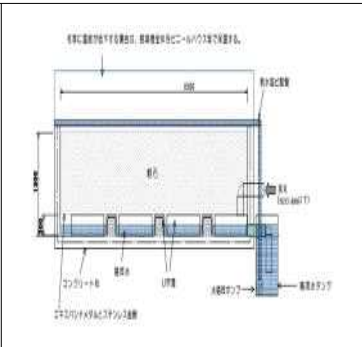

- 일본의 경우, 축산이 집약적으로 발전한 군마현, 사이타마현, 니가타현에서는 축산환경 문제 중 70~80%가 악취 민원으로 발생한다고 보고되고 있으며, 이에 따른 악취저감 방법 및 기술평가로는 축종, 축사, 분뇨의 이동, 자원화 과정(퇴비화, 액비화), 자원화 공정(개방형 발효, 밀폐형 발효), 농지환원 등 자원화물의 운반 등으로 구분하여 악취 문제를 단계별로 대응하고 있음. 악취저감기술로서는 물리적 악취저감기술(에어커튼, 복토기술, 방풍림 이용 기술 등) 및 기능성자재와 탈취자재를 이용한 악취저감기술, 자원화 운영방식에 따른 악취저

감 시스템 매뉴얼 등을 보고하고 있음. (축산악취 대책 매뉴얼, 2015. 군마현 축산 시험장/ 사이타마현 농림종합연구센터/ 니가타현 농업종합연구소)

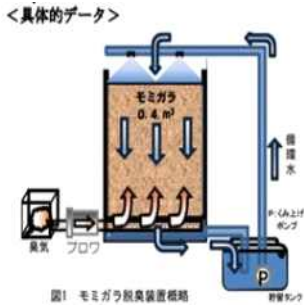

- EU 등 선진국은 축사 및 환기시설과 연계한 악취저감 장치를 개발하고 있음(축산원 보고서, 2012). 돈사주변의 Wind break 기능에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, Lin(2007)은 Wind break의 특성에 따라 악취는 22-26.5% 감소 가능하다고 보고한 바 있음.
 - 축사내 악취저감시설로는 안개분무 및 입자성물질 제거장치 등이 많이 이용되고 있으며, 축사외부 악취저감시설로는 바이오필터나 Windbreak(Shelterbelt) 등과 같이 초기투자 및 운영 관리비가 저렴하고 유지관리가 용이한 시스템들이 많이 보급되어 있음.
 - 미국의 미네소타주와 마찬가지로 아이오와주에서도 바이오필터 돈사의 탈취시설로 많이 채택하고 있으며 아이오와 주립대에서 바이오필터 담체보 Compost 75%와 Wood chip 25%를 혼합한 바이오필터를 사용하여 80~90%의 악취저감 효율을 얻을 수 있다고 보고(ISU. 2003)한 것과 같은 경향을 보임.

○ 일본(군마현) - 경석탈취장치

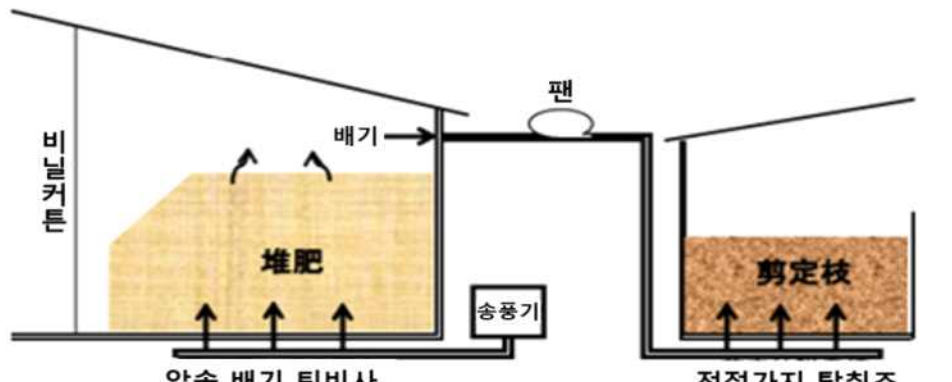


1. 요약	· 경석을 충전한 탈취장치이며, 축사특유의 저급지방산 등의 분냄새를 사람이 느끼지 못하는 수준까지 제거가능
2. 특징	· 경석은 수분을 약 30% 포함하고 있고 수분 보유 능력이 높고, 표면에 작은 구멍이 뚫려있어 암모니아 산화 미생물 (질화 균)의 거처 처리되기 쉬운 재료임. 또한 수조에 경석을 충전하여도 틈이 있기 때문에 전체 양의 반은 공기층임.
3. 탈취원리	· 분뇨처리 시설에서 발생하는 악취의 주체인 암모니아는 물에 녹기 쉽기 때문에 , 수분을 포함한 경석조 아래에서 악취 공기를 보내는 경우 경석에 포함된 수분악취물질이 녹아 공중에서 제거됨 그러나 수중의 암모니아 농도가 짙어지면 pH가 높아져 버리면 그 탈취능력이 저하됨. · 그래서 수중의 암모니아 산화 미생물 (질화 균)에 의해 아질산염과 질산염으로 변화하여 물의 pH가 낮아지게되면 암모니아가 녹아 계속 탈취가 가능해짐.
4. 운전관리	1. 송풍온도 확인 · 경석온도, 부석층 표면 온도 부석층에 돌풍온도를 매일 점검하고 돌풍 송풍기의 조정이나 비닐하우스의 개폐 등에 의해 적정범위(20~30℃)으로 유지 2. 순환수 량의 확인 · 고농도 대응형에서 순환수가 증가하기 때문에 증가된 순환수는 가능하다면 소변오수정화 처리시설 등에서 처리함. 불가능한 경우 퇴비 등에 살포함.

<p>5. 탈취장치 구조</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 경석을 충전한 탈취조 아래에서 희석용 송풍기에 의해 암모니아 농도를 400ppm 이하 (미생물이 암모니아를 분해 할 수 있는 농도)로 희석한 냄새를 주입 2 30분에 1 회 정도 경석에 살수하여 암모니아를 용해시키고 미생물의 활동을 활성화시킨 후, 살수한 물탱크로 다시 순환시킴.(순환 수). 3 물에 녹은 암모니아는 질화균에 의해 아질산염과 질산염 산화 된 순환수의 pH가 저하되므로, 탈취 후 암모니아 농도를 1/10 이하로 줄일 수 있음. 4 온도가 낮아지면 미생물 활동이 저하되므로 탈취조 전체를 비닐하우스 등으로 보온함. 5 저렴한 경석을 사용하여 설치비용을 줄일 수 있음. 6 경석의 교환주기는 10년 정도임.
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>경석조와 순환수 살수관</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>경석 탈취장치 구조</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>경석 탈취장치(양돈농가)</p> </div> </div>
<p>6. 관리상 주의점</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 경석 탈취 장치의 탈취의 주역은 질화균 <ul style="list-style-type: none"> · 35 ℃ 이상이나 15 ℃ 이하에서는 질화균 활동이 저하되므로, 경석 탈취조의 온도를 15 ~ 35 ℃로 유지하는 것이 중요함. ① 여름철 고온시에는 희석 공기의 온도가 영향을 주기 때문에 희석 공기에 차가운 바깥 공기를 사용하고, 그 외에 순환수의 급수 시간과 물 양을 증가시켜 기화열에 의해 경석 온도를 낮추거나, 장치 전체 차광 · 차열 시트를 이용하는 방법이 있음. ② 저농도 악취 대응형 탈취 장치의 겨울철 저온 대책으로는 하우스를 닫고 보온하거나 하우스에서 따뜻한 공기를 희석 공기로 이용하는 등의 방법이 있음. 2. 질화균의 서식을 위한 암모니아 농도 <ul style="list-style-type: none"> · 질화균의 서식을 위해서는 배기 중의 암모니아 농도를 최대 400ppm으로 유지해야함. · 밀폐 수직 발효 장치에서는 1,000ppm 이상의 농도가 되므로 충분한 희석과 혼합이 필요. · 경석 탈취 장치는 생물 탈취임을 염두해 두고 여유 있게 규모를 설계할 필요가 있음

○ 일본(군마현) - 왕겨탈취장치

<p>1. 요약</p>	<p>· 왕겨를 담체로 한 간단한 미생물 탈취 장치 퇴비 처리 시설에서 발생하는 평균 20ppm의 암모니아 가스를 90 % 이상 제거 할 수 있습니다. 외양간의 반 청소기의 평균 6ppm의 암모니아 가스에서도 탈취 효과를 얻을 수 있음.</p>	
<p>2. 배경·목적</p>	<p>· 군마현의 축산에 관련된 민원은 매년 약 100 건 정도로 그 중 약 70 %가 악취와 관련 있음. · 축산에 있어서 악취 대책은 경영의 계속에서 피할 수없는 과제가 되고 있지만, 중소 규모 축산 농가의 도입하기 쉬운 간단한 탈취 장치는 실용화되어 있지 않기 때문에 저렴하고 접근 가능한 왕겨를 이용한 탈취 장치를 개발하였음.</p>	
<p>3. 기술의 내용·특징</p>	<p>· 탈취 장치는 상용 컨테이너를 이용하여 손에 넣기 쉬운 왕겨를 양 0.4m3 (높이 0.9m) 충전이 왕겨 조에는 소변 오수 정화 처리 시설의 활성 오니를 몇 차례 살포하고 질화균을 첨가함. 또한 왕겨 탈취 층을 습윤 상태로 유지하기 위해 물을 1분간 살포하고 29분간 중단하는 방법으로 분무한 물이 순환 이용할 수 있도록 해야 하며, 순환 물은 증발이나 비산에 의해 감소하기 때문에 적절하게 수돗물을 보충해야함.</p> 	
<p>4. 이용상의 유의점</p>	<p>왕겨탈취 장치 요약</p>	<p>축사의 왕겨 탈취 장치 설치 상황</p>
	<p>1. 겨울 탈취 능력 저하를 개선하기 위해 수돗물로 여러 번 교체해야하며 교체된 물은 암모니아 농도가 높기 때문에 폐수 처리 시설 등으로 적절하게 처리해야함. 2. 왕겨는 충전 용량이 감소하는 경우에 보충해야함.</p>	

○ 일본(사이타마 현) - 전정가지(剪定枝) 탈취장치

1. 특징	<p>· 전정가지(剪定枝)탈취장치는 탈취조 2축 전단식 파쇄기로 분쇄한 나무 전정지를 충전 밀폐형 퇴비사의 흡입배기를 도입하여 탈취하는 장치로 구조가 단순하고, 거의 무상으로 입수가 가능한 전정지를 탈취자재로 사용한 간이형 탈취조임.</p>																								
2. 탈취의 구조	<p>1. 나무의 전정지를 2축 전단식 파쇄기로 2회 파쇄(치폭 30mm와 6mm) 한 것 2. 밀폐형 퇴비사의 공기를 흡입하고 파쇄 전정지를 충전한 발효기의 바닥에 설치하여 파쇄할 수 있던 전정지의 미세 구조에 흡착된 악취물질을 미생물에 의해 분해하는 장치임.</p>																								
3. 탈취장치의 설치 예																									
4. 운전관리	<p>1 퇴비 재료의 온도가 60℃에 도달 할 때까지는 공기를 1m³ 당 80-90L/min으로 주입하고 60℃에 도달 한 후는 30L/min으로 주입함. 공기 흐름을 줄임으로써 악취 발생량이 감소하고 전기 요금을 절감할 수 있음. 2 탈취조로는 0.8 m³ / 분 냄새를 보냄(탈취조에서 명백한 풍속 : 0.004 초, 악취 탈취조로의 접촉 시간 : 230 ~ 250 초). 3 탈취조의 표면에서 10 ~ 15cm의 수분 함량이 40 ~ 50 %가 되도록 적절히 가수함. 또한 전정 가지의 부피가 감소하면 감소분을 추가함.</p>																								
5. 탈취성적	<p>○ 전정가지 탈취장치 처리효과</p> <table border="1" data-bbox="359 1467 1412 1668"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">암모니아</th> <th colspan="2">황화수소</th> </tr> <tr> <th>농도(ppm)</th> <th>처리율(%)</th> <th>농도(ppm)</th> <th>처리율(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>평균</td> <td>142.7</td> <td>92.0</td> <td>0.41</td> <td>99.9</td> </tr> <tr> <td>최소</td> <td>20.0</td> <td>41.8</td> <td>0.05</td> <td>94.3</td> </tr> <tr> <td>최대</td> <td>400.0</td> <td>100.0</td> <td>4.00</td> <td>100.0</td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="414 1680 798 1915">  <p style="text-align: center;">압송 배기 퇴비사</p> </div> <div data-bbox="957 1680 1348 1915">  <p style="text-align: center;">전정가지 탈취장치</p> </div> </div>		암모니아		황화수소		농도(ppm)	처리율(%)	농도(ppm)	처리율(%)	평균	142.7	92.0	0.41	99.9	최소	20.0	41.8	0.05	94.3	최대	400.0	100.0	4.00	100.0
	암모니아		황화수소																						
	농도(ppm)	처리율(%)	농도(ppm)	처리율(%)																					
평균	142.7	92.0	0.41	99.9																					
최소	20.0	41.8	0.05	94.3																					
최대	400.0	100.0	4.00	100.0																					


○ 미국 - 급이조절(Diet Manipulation)

- 동물 사육 및 분뇨저장으로 인한 배출량 감소를 고려할 때, 사료 급수 및 그에 따른 분뇨가 배출가스의 원인이 됨.
- 현재까지 급이조절과 관련된 연구방향은 영양물질의 투입감소화와 영양소 형태의 변경에 대한 연구내용이 중점적으로 진행 중에 있음
- 악취저감기술은 선택한 기술에 따라 다르지만 NH₃와 H₂S의 경우 30~50%까지 저감 효과가 있으며 냄새(20~40%) 및 입자상 물질제거(50~80%)에도 효과가 있는 것으로 보고되고 있음.

<표 27> 급이조절의 종류

단계별 및 분할성 급이방식	크기나 성별이 다른 동물이 영양 요구가 다르다는 것을 인식하고 과도한 영양분을 제공하지 않도록 식단을 조정하는 방법
발효 탄수화물 추가	콩 껍질, 밀기울, 사탕무는 사료에 첨가하면 더 많은 질소를 대변으로 이동시키고 pH를 낮추는 요소로 작용하여 소변에서의 질소배설을 감소시킴
분쇄 입자 크기	650~750 마이크론의 입자 크기는 더 큰 입자보다 많은 표면적을 제공하고 사료 영양분을 보다 유용하게 만들어 배설물을 감소시키며 600~1000 마이크론의 입자 크기는 배설물에서 20~24%의 질소가 감소한 형태로 배출하지만 그 이상의 입자는 돼지의 궤양을 유발할 수 있음.
액체 급식	식단에 1% 이상의 지방을 첨가하면 사료 공급시 먼지가 줄어들며 유럽의 경우 액체 급식이 사용되고 있음
음용수의 황 함량 제어	돼지가 마시는 물에 황의 함량이 많아지게 되면 황수수소 배출에 기여하기 때문에 음용수 내의 황함량을 줄여서 공급


<표 28> 급이조절의 장·단점

 <p>Figure 1. Avoid providing excess nutrients. (Courtesy of National Pork Board)</p>	장점	·변경 비용이 거의 들지 않음 ·쉽게 이행가능
	단점	·사료첨가제, 비용은 변동될 수 있음 ·돼지가 성장함에 있어 요구되는 영양소에 대한 복잡한 사료 선택을 유도 할 수 있음.

○ 미국 - 정전기 침전(Electrostatic Precipitation)

- 정전기 시스템은 먼지 입자에 음전하를 부여하여 게이트, 바닥 및 변과 같은 접지된 표면에 달라붙게 하며 안전을 고려하여 최대 전류가 2mA인 저전압 상태에서 -30kV의 직류를 생성하는 전원 공급 장치에 연결된 라인을 매달아 사용함.
- 이 라인에는 밀접한 가격을 둔 스테인레스 강 전극이 있어 고전압의 음극 코로나 방전을 일으켜 먼지 입자에 전하를 유도하는 역할을 함.
- 악취저감 효과로는 NH₃의 경우 돈사 내의 먼지가 감소될 때 오히려 NH₃농도가 21% 증가하는 사례가 보고되고 있으며 일반적인 경우 최대17% 저감 효과를 보이고 있고, H₂S의 제거에는 효과가 없으나 메탄(5%), 이산화질소(16%) 등의 저감 효과를 보이고 있음.


<표 29> 정전기 침전의 장·단점

 <p>Figure 1. A swine nursery with the electrostatic system mounted on a pipe.</p>	장점	·건물 내부에서 공기를 정화 ·동물의 생산성 향상
	단점	·표면의 먼지 축적 ·정전기 충격을 일으킬 수 있어 근로자 주의 요망 ·상대습도의 영향이 있음

○ 미국 - 식물성 기름분무(Oil Sprinkling)

- 식물성 기름을 공기 중에 뿌려 먼지 입자가 기름방울과 다른 먼지 입자에 달라붙게 하여 바닥에 떨어지게 하는 방법 1,000헤드 당 하루에 약 1갤론 정도의 매우 적은 양의 오일로 매일 수행해야함.
- 사용되어지는 기름으로는 원유 카놀라, 정제 카놀라, 아마, 옥수수, 해바라기, 콩유 등이 사용
- 악취저감 효과로 NH₃는 0~30%, H₂S는 20~30%의 저감 효과를 보이고 있음.

<표 30> 식물성 기름분무의 장·단점


 <p>Figure 1. A handheld sprayer for vegetable oil spraying. (Courtesy of University of Minnesota)</p>	장점	·건물 내부의 공기정화 효과가 있음 ·수작업으로 쉽게 적용가능
	단점	·미끄러운 바닥표면으로 인한 안전문제 ·핸드 펌프로 작업시 일일 노동이 필요 ·기름성 잔류물을 제거하기 위해 실내에서 세척하는 동안 추가 시간이 필요

- 또한 개방형 축사의 비중이 높아 무창축사 위주의 유럽/미국의 악취저감기술을 그대로 적용하는 것이 곤란하므로 개방형 축사에 적합한 악취저감기술 위주로 시장이 형성되고 있음. 일본의 분뇨처리장 악취저감 시설은 미생물을 이용한 저렴한 형태의 시스템의 수요가 높음 (KISTI 미리안 글로벌동향브리핑, 국가환경산업기술정보시스템. 2015. 11. 27.)

○ 미국 - 장벽(Barrier)

- 바람막이 벽이라고도 불리고 있으며 공기 흐름의 전진 운동량을 줄이고 먼지 입자를 제거하고 혼합을 촉진하기 위해 바람의 방향을 위로 향하게 하여 위의 깨끗한 공기와 쉽게 혼합될 수 있도록 유도하여 악취확산을 줄이는 역할을 함
- 악취저감 효과는 NH₃, H₂S에 대한 저감 효과는 없으나 냄새확산에 대해서는 디자인에 따라 25~90%까지의 줄일 수 있는 것으로 보고되고 있음.


<표 31> 장벽의 장·단점

 <p>Figure 1. Smoke test with windbreak wall (left) and without (right). (Courtesy of Larry Jacobson, University of MN)</p>	장점	·구현이 용이함 ·먼지저감 효과에 탁월함 ·설계에 따라 악취확산이 용이함
	단점	·개방형 축사에 사용하기 어려움 ·가스배출감소는 먼지가 낀 상황에만 가능함 ·바람이 부는 지역에는 추가 유지보수가 필요

○ 미국 - 바이오필터(Biofilter)

- 기계적 환기 처리하는 축사에서 이용되며 우드칩을 깔아놓은 베드에 통과시켜 베드에서 발생하는 미생물에 의해 흡수됨. 우드칩의 수분함량은 40% 이상을 유지하는 게 중요함.
- 바이오필터의 설계에 있어 중요한 고려사항은 공기보유시간과 정압의 균형을 맞추는 것임. 긴 체류시간은 악취제거에 큰 효과를 보이지만 그만큼 압력이 증가하여 팬에 많은 동력이 필요하기 때문에 전력손실이 유발되며 일반적인 처리시간은 3~5초의 체류시간이 적당하다고 명시하고 있음.
- 악취저감 효과로는 NH₃의 경우 45~75%, H₂S의 경우 80~95%, VOC 76~93%까지의 저감되는 것으로 보고되고 있음.


<표 32> 바이오필터의 장·단점

 <p>Figure 1 Biofilter constructed on a curtain-sided finishing building</p>	장점	<ul style="list-style-type: none"> · 여러 악취물질에 효과적임 · 구하기 쉬운 매개체를 사용함 · 상대적으로 쉬운 구조를 가지고 있음
	단점	<ul style="list-style-type: none"> · 환기시스템에 영향을 미치지 않은 설계가 필요 · 유지 관리 및 설치시 통제가 필요 · 규모에 따라 큰 공간을 요구할 수 있음. · 여름철에 저감 효율이 떨어짐

○ 미국 - 굴뚝(Chimney)

- 굴뚝은 지역화 된 곳에서 배출가스의 영향이 우려되는 산업지역에서 오랫동안 사용되어온 기술이며 산업계에서는 일반적으로“Smoke Stacks”이라고 불리는 매우 큰 구조물로 효과는 매우 좋음.
- 굴뚝에 영향을 주는 주요요인은 굴뚝의 높이와 굴뚝을 통과하는 공기의 속도이며 이 시설이 효과적인 이유는 풍속이나 공기난류가 대기에서 더 증가하기 때문에 배출원에서부터 빠르게 분산되고 악취물질을 희석시키는 역할을 함.
- 악취저감 효과로는 NH₃, H₂S의 경우 장벽(Barrier)과 마찬가지로 직접적인 저감 효과는 없으나 냄새확산에 대해 75%까지 줄일 수 있는 효과를 보이고 있음.

<표 33> 굴뚝의 장·단점


 <p>Figure 1 Ventilation chimney stacks on a German swine farm.</p>	장점	<ul style="list-style-type: none"> · 1,000피트 미만 지역에서 효과적임 · 설계에 따라 먼지 방출을 줄일 수 있음
	단점	<ul style="list-style-type: none"> · 방출량의 감소는 발생하지 않음 · 효과를 보기 위해서는 비교적 높이를 최대한 높여야함.

○ 미국 - 세정탑(Scrubber)

- 세정탑은 축사를 통해 환기구로 나갈 때 사용되며 액체를 이용하여 먼지나 입자상 물질, 악취물질들을 공기중에 흡수하여 처리함.
- 일부 세정탑은 부분적으로 재순환되는 물을 사용하지만 다른 일부 세정탑은 공기 중의 특정 기체를 흡수하기 위해 산이나 염기를 사용하여 pH를 조절하며 이로 인하여 발생하는 액체는 폐기물로 처리되어지고 있음.

- 악취저감 효과로는 NH₃의 경우(70~90%), 냄새저감(30~60%), 입자상 물질(60~90%), VOC(50~90%)의 저감 효과가 나타나는 것으로 보고되고 있음.

<표 34> 세정탑의 장·단점

	장점	<ul style="list-style-type: none"> ·여러가스, 냄새 및 미립자 물질에 대해 매우 효과적임 ·특정 오염 물질을 처리할수 있도록 설계가능
	단점	<ul style="list-style-type: none"> ·설치 및 유지비용의 소모가 큼 ·2차적인 처리물이 생성됨 ·설계 및 운영시 환기율에 영향을 미치지 않도록 고려가 필요

나. 축산악취 신기술 개발 및 현장점검을 위한 농가 선정(테스트 베드)

○ 테스트 베드 선정 목적 및 조건

- 본 연구과제는 축사형태 및 분뇨수거방식을 고려하여 축사 내·외부에 활용 할 수 있는 기존의 악취저감기술이나 신기술을 개발하는 것이며, 악취저감기술평가와 지표개발 및 경제성 평가를 주목적으로 하고 있음.
- 따라서 악취저감기술평가 지표개발 및 경제성 평가를 위해서는 현재 농가에 적용되고 있는 주요 악취저감기술을 조사하여 대표할 수 있는 악취저감기술을 선정하고 그에 따른 운영비 대비 악취저감 효과를 분석할 수 있는 농가를 선정할 필요가 있음.
- 테스트 베드 농가 선정을 위해 '16년부터 진행되어왔던 농림축산식품부 사업 중 광역축산악취개선사업 참여 농가를 대상으로 현장점검 및 사업점검 추진
 - * 광역축산악취개선사업 : 축산농가의 악취 개선을 위해 광역별(시·군) 지역을 선정하여 개별농가에 악취저감시설 사업비를 지원해주는 사업
 - * '16년 광역축산악취개선사업 대상(5개소) : 천안, 논산, 정읍, 영천, 고성, ('17) 3개소 : 경산, 고성, 의령
- 테스트 베드의 선정을 위한 조건은 <표 35> 와 같음

<표 35> 테스트 베드 농가 선정 조건

조건 1	광역축산악취개선사업 중 신청대상농가
조건 2	광역축산악취개선사업을 통해 신청한 악취저감시설 조사
조건 3	가장 많이 신청한 악취저감시설을 축사 내·외부기술로 구분하여 각 2~3개 선정
조건 4	선정된 악취저감시설이 포함된 대상농가를 선별하여 지자체와 농장주의 협조가 가능한 농가를 테스트 베드로 선정

○ 테스트 베드 선정 과정

- 악취저감시설 현황파악
 - 테스트 베드 선정을 위하여 축산환경관리원에서 진행한 광역축산악취개선사업의 사업신청

서를 토대로 농가별 악취저감시설 신청현황을 조사하였고, 농가 이외의 기타 시설에 신청한 시설은 제외하였음.

<표 36> 2016년 광역축산악취개선사업 악취저감시설 신청현황

고성(15개소)		논산(13개소)		영천(15개소)		천안(2개소)	
시설명	신청개수	시설명	신청개수	시설명	신청개수	시설명	신청개수
바이오커튼	6	액비순환시스템	27	바이오커튼	3	액비순환시스템	2
폐사축처리기	7	바이오커튼	1	고액분리기	7	안개분무	1
액비저장조	11	펜스	12	액비순환시스템	2	퇴비사 밀폐	1
싱크트론	1	조경수	1	액비저장조	2	탈취탑	1
탈취탑	3	퇴비사 밀폐	1	퇴비사 밀폐	9		
액비순환시스템	11	액비화시설 밀폐	1	고농도 유기폐수 처리장치	1		
고액분리기	8	안개분무	9	음수투약기	4		
미생물배양기	8	탈취탑	1	이산화염소 발생공급장치	2		
퇴비사 밀폐	4			라디칼 분사시스템	1		
BM활성수	1			액비저장조 밀폐	2		
안개분무	1			탈취탑	6		
돈사슬리창고기	7			안개분무	1		
바이오필터	1			덕트시설	1		

<표 37> 2017년 광역축산악취개선사업 악취저감시설 신청현황

경산(18개소)		고성(19개소)		의령(8개소)	
시설명	신청개수	시설명	신청개수	시설명	신청개수
음수형 악취저감기	17	액비순환시스템	17	액비순환시스템	8
안개분무	17	폐사축처리기	19		
석회질 정수장치	17	미생물배양기	19		
탈취탑	17	액비저장조	1		
단열겸 외관 페인팅	16				
액비순환시스템	2				

- 축사 내·외부 기술 분류

- 2016년 광역축산악취개선사업에 선정된 대상농가에서 신청한 축사내부저감기술은 액비순환시스템(42개소), 안개분무(12개소), 돈사 슬러리 청소기기(7개소)로 나타났으며, 축사외부저감기술은 펜스(12개소), 탈취탑(11개소), 바이오커튼(10개소)로 나타났음.

<표 38> 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, 축사외부저감기술은 탈취탑(18개소), 단열겸 외관 페인팅(16개소), 퇴비장 밀폐(15개소)로 나타났음.

<표 39> 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)

- '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.
- 본 조사를 통하여 도출된 테스트 베드의 후보농가의 선정조건은 축사내부의 경우 액비순환시스템, 안개분무, 음수형 악취저감기가 설치되어있고, 축사외부저감기술의 경우 탈취탑, 펜스, 바이오커튼이 설치되어 있는 농가를 대상으로 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단하였음.
- 미생물배양기의 경우 농가에서 배양한 미생물은 악취저감을 위해 축사 내·외부로 사용하는 활용범위가 넓어 테스트 베드 선정시 반드시 포함되어야 하는 필수요소로 보기 보다는 선택적인 고려요소로 판단하였음.

<표 40> 테스트 베드 선정조건을 위한 주요 악취저감시설 선별(16년,17년 전체)

축사내부저감기술		축사외부저감기술		기타 기술	
시설명	신청수	시설명	신청수	시설명	신청수
액비순환시스템	69	탈취탑	28	미생물배양기	27
안개분무	29	펜스	12	폐사축처리기	26
음수형 악취저감기	22	바이오커튼	10	단열겸 외관 페인팅	16
석회질 정수장치	17	이산화염소발생 공급장치	2	퇴비사 밀폐	15
돈사 슬러리 청소기기	7	바이오필터	1	고액분리기	15
BM활성수	1	조경수	1	액비저장조	14
고농도 유기폐수처리장치	1	덕트시설	1	액비저장조 밀폐	3
		라디칼분사시스템	1		

- 선정된 악취저감기술을 포함한 대상농가 선별
 - <표 40>에서 도출된 악취저감기술 중 축사내부기술(액비순환시스템, 안개분무, 음수형 악취저감기)과 축사외부기술(탈취탑, 펜스, 바이오커튼)이 설치되었거나 설치예정중인 농가를 대상으로 농가를 선별하였고 현장방문을 통해 테스트 베드를 선정
 - 2016년 광역축산악취개선사업 대상 지역중 논산의 경우 양돈단지와 공동자원화시설을 대상으로 사업을 추진하고 있어 각 농가에 어떠한 시설이 설치될 예정인지에 대한 파악이 불가능하여 테스트 베드 후보농가에서 제외하였으며, 공동자원화시설 제외

<표 41> 테스트 베드 후보농가

연도	지역	농장명	축사내부기술	축사외부기술
2016년	고성	G농장	미생물배양기, 액비순환시스템, 돈사 슬러리 청소기기,	액비저장조, 폐사축처리기, 퇴비사 밀폐, 바이오커튼
		M농장1	액비저장조, 액비순환시스템, 돈사 슬러리 청소기기, 미생물배양기	바이오커튼
		M농장2	액비저장조, 액비순환시스템, 돈사 슬러리 청소기기, 미생물배양기	바이오커튼
		E농장	액비저장조, 액비순환시스템, 미생물배양기, 돈사 슬러리 청소기기, 안개분무	액비저장조
		B양돈	액비저장조, BM활성수, 미생물배양기, 돈사 슬러리 청소기기, 안개분무	폐사축처리기
	영천	S농장 (2농장)	음수투약기시스템	퇴비사 밀폐, 액비저장조 밀폐, 탈취탑, 고액분리기,
		L농장	안개분무	퇴비사 밀폐, 탈취탑, 고액분리기
		S농장	액비순환시스템	액비저장조, 퇴비사 밀폐, 고농도유기폐수처리장치
	천안	G농장	액비순환시스템, 안개분무	
		C농산	액비순환시스템	퇴비사 밀폐, 탈취탑
2017년	경산	U 농장	음수형 약취저감기, 안개분무, 석회질 정수장치, 액비순환시스템	퇴비장 밀폐, 단열겸 외관 페인팅, 탈취탑
	김해	H 농장	액비순환시스템	고액분리기, 탈취탑
		J 농장	액비순환시스템	바이오커튼, 고액분리기
		L 농장	액비순환시스템	바이오커튼

다. 돈사 내부 악취저감시설 효능평가

1) 연구조사 방법

- 축산환경관리원에서 시행한 광역축산악취개선사업 대상지('16~'17년, 115개소)의 테스트 베드 농가 중 ICT 장비를 활용한 실시간 악취측정 장비가 설치된 농가(4개소)를 대상으로 농가악취의 악취발생 정도(암모니아, NH₃)를 4월부터 9월까지 측정하여 악취저감시설 전과 악취저감시설 후 발생하는 악취의 정도를 비교·분석하였음.
- ICT 장비가 설치된 농가에 적용된 악취저감기술은 국내 축산농가에서 대표적으로 활용 가능한 기술을 중심으로 액비순환시스템, 미생물제제 사용시, 퇴비사 밀폐를 중심으로 암모니아 센서, 축사 내외부 온·습도를 30분 단위로 측정하여 축산환경관리원에 설치된 서버에 실시간으로 기록하는 자료를 대상으로 분석하였음.
- 액비순환시스템 적용 농가의 경우 무창돈사와 유창돈사를 구분하여 분석하였으며, 미생물제제 활용 농가 및 퇴비사 밀폐의 경우 별도로 분석하였음
- 기록된 측정 데이터는 축산환경관리원에서 월별로 처리되어 분석하였으며, 개방형 돈사의 경우 하계(5월) 돈사 개방 전·후를 분리하여 악취 측정 후 관찰. 사용된 ICT 장비의 경우 2개 업체의 ICT 장비를 사용하였으며, 검지관식 기체측정기와 디지털 측정기를 병행(분기별 1회, 암모니아 센서 교체 주기 동기 점검)으로 사용하여 검증하였음

<돈사내부 악취저감 적용 기술 개요>

1. 액비순환시스템 개요

- 양돈장에 적용되는 액비순환시스템은 돈사 환경개선, 액비화 처리 및 악취저감 등 다목적으로 활용되며 액비화 처리를 위한 발효과정과 발효액비의 돈사 내·외부 순환과정으로 구성됨.
- 돼지가 배설한 분뇨가 혼합된 형태인 슬러리를 호기성 액비화 처리 후 그 액비의 일부를 돈사 하부 분뇨 피트로 투입하면 피트 내에 있는 슬러리와 혼합되어 돈사 밖으로 배출되고 유량조절, 폭기처리 및 혐기처리 등 여러단계의 액비화 처리과정을 거쳐 액비저장조에 저장됨.
- 순환을 위한 순환액비는 따로 저장과정을 거친 후 돈사내 슬러리 피트로 순환되는 과정을 계속 반복하게 됨(하 외 1, 2015, 액비순환시스템의 양돈장 악취저감 효과).
- 액비순환시스템을 적용하게 되면 슬러리피트에 미생물로 우점화된 액비가 지속적으로 유입됨으로써 피트 하부에 분뇨의 혐기발효가 억제되어 악취유발 공저의 감소로 양돈장 전체 악취발생을 크게 줄일 수 있으며, 그 외에 폐사율 감소, 출하일수 단축, 시설 유지비용 절감 등의 부수적 이익을 얻을 수 있음(한국환경공단 악취관리센터, 2014, 업종별 악취관리 사례집).

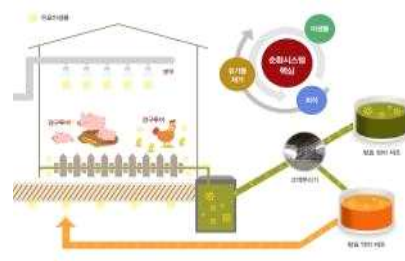
액비순환시스템 모식도

- 슬러리를 고액분리와 호기발효를 거쳐 냄새가 적은 발효액비로 생산한 후, 돈사 피트로 재순환시켜 피트 내 슬러리가 부패되기 전에 신속 배출하여 냄새물질 발생을 차단

* 돈분뇨와 발효액비를 3:7로 혼합 후 3주 경과 시 냄새물질 변화



영천 S 농장 (액비순환시스템 배관연결 사진)



액비순환시스템 구조

2. 미생물 환경개선제

- 미생물 환경개선제를 급여하면 돼지 장내에 낙산 또는 아세트산을 생산하여 장내 pH를 낮춰 줌으로써 유해 병원균의 번식을 억제하고 돼지의 성장률과 사료 소화효율에 도움을 줌.
- 결과적으로 소화능력이 개선되어 돼지 분뇨에서 암모니아, 황화수소 및 휘발성 저급지방산 등 악취물질 발생량을 감소하는 효과가 있음.(축산과학원, 2017, 축산냄새 이렇게 잡아라)

미생물 환경개선제 종류

	<p>장내 부패균의 생육 억제 및 사료소화 효소 생산 촉진</p>		<p>단백질 및 전분 분해효소 생산으로 축사악취 경감효과</p>
	<p>사료의 기호성을 향상시키고 우수한 영양성분으로 작용</p>		<p>여러 종류의 효소생산으로 사료 이용성을 촉진</p>
<p>유산균</p>		<p>바실러스</p>	
<p>효모</p>		<p>곰팡이</p>	

<p>실시간악취측정기 (OMS-100)</p>	<p>실시간 악취측정기 (SLC-OS-A22100)</p>	<p>검지관식 기체측정기</p>	<p>디지털 측정기</p>

<그림 3> 악취발생 측정장비



<그림 4> ICT 활용 축산악취측정 모식도

2) 연구조사 결과

<액비순환시스템 평가>

- ICT를 활용한 축산악취측정결과 액비순환시스템을 활용한 축사의 경우 무창돈사와 개방형 돈사를 측정하였으며 개방형돈사의 경우 시설설치가 완료된 '18년 4월부터 가동이 시작되었으며, 창이 개폐되는 5월 중순부터 악취발생량이 현저하게 줄었으며, 9월부터 다시 암모니아 수치가 줄어드는 것을 알 수 있음
- 특히, 개방형돈사의 경우 액비순환시스템을 운영하기 전에는 평균 암모니아(NH₃) 수치가 10~50ppm으로 측정되었으나, 액비순환시스템 적용후 암모니아(NH₃) 수치가 10ppm을 넘지 않았으며, 창문이 개방되는 여름철 온도가 증가함에도 암모니아 수치는 비교적 감소하는 경향을 나타냄.
- 무창돈사의 경우 액비순환시스템 적용 후 암모니아 수치가 급격하게 줄어 7월 평균 발생 암모니아(NH₃)는 평균 2ppm까지 감소하였으나, 여름철 급격한 온도 상승 및 불필요한 소독으로 액비관리에 착오로 인해 8월부터 암모니아 수치가 증가하였으며, 현재까지 액비순환시스템의 기능에 제한이 되고 있음
- 무창돈사의 경우 7월 평균 온도가 31℃까지 증가함에 따라 혹서기 운영 경험이 없는 농장주의 액비 관리에 어려움이 발생함에 따라 액비순환시스템 적용전과 같이 암모니아(NH₃) 수치 증가(8월 액비저장조 보수 공사 진행), 특히 축사내·외부 소독이 결정적인 영향
- 액비순환시스템의 경우 축사환경에 비교적 영향을 적게 받았으며, 온도와 습도가 증가함에도 암모니아(NH₃) 꾸준히 감소하여 혹서기에도 악취발생 저감효과는 우수하였으나, 급격한 온도변화 및 소독에 따라 액비를 구성하고 있는 미생물 관리에 세심한 관찰이 필요하는 등 액비순환시스템을 운영하는 운영관리자의 세심한 관리가 필요
- 액비순환시스템의 경우 악취발생에 효과적이나 액비관리가 중요하였으며, 유창돈사의 경우

창문개방에 의한 간접영향으로 액비수치가 증가하는 경향을 보였으며, 창문이 폐쇄되는 9월 이후 혹한기 까지 지속적인 수치 측정을 통한 액비순환시스템 효과를 규명이 필요

<퇴비사 밀폐 평가>

- 퇴비사 밀폐의 경우 퇴비사 외부에서 발생하는 암모니아 수치를 측정하였으며, 퇴비사 밀폐가 완료된 6월 부터는 암모니아 수치가 평균 5ppm 이하로 발생함에 따라 축산관련 악취 저감에 효과가 있었으나, 기온이 증감함에 따라 내부 퇴비사 관리에 어려움이 발생하여 악취 발생이 증가.
- 퇴비사의 경우 퇴비사 밀폐가 악취 효과가 많았으나, 내부 퇴비상태도 중요함에 따라 적절한 수분조절제 투입, 고액분리 등을 활용하여 악취를 저감시키는 것이 효과적

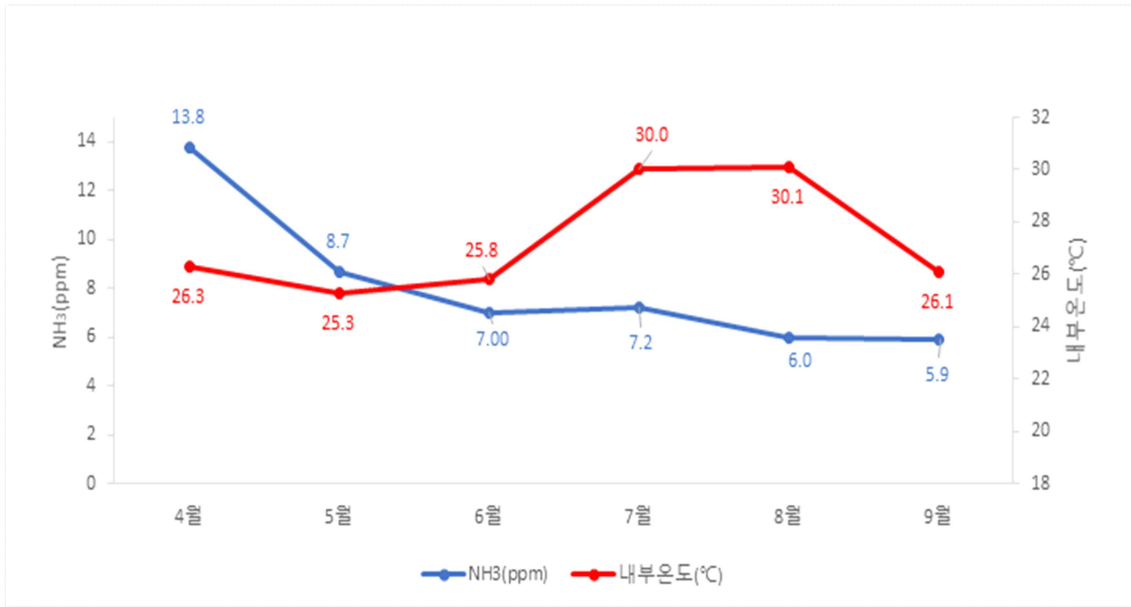
<미생물제재 활용>

- 미생물 제재 농가의 경우 고초균, 바실러스 균을 중심으로 악취저감을 추진하였으며, 주변 축사환경에 따라 악취저감효과가 영향을 많이 받았으며, 미생물 균주에 대한 정확한 효과 규명을 위해서는 적정 용량, 살포시기 등에 영향을 고려한 면밀함 검토 필요
- 현행 측정 농가의 경우 농가에서 직접 미생물을 배양하여 살포하고 있었으며, 살포시기와 살포량 등을 농장주의 주관적인 판단하에 실시함에 따라 객관적인 분석이 어려웠으며, 향후 좀 더 제한된 여건에서 분석하여 미생물제재의 효과를 검증(7월 이후 농장주 임의균주 변경으로 악취증가)

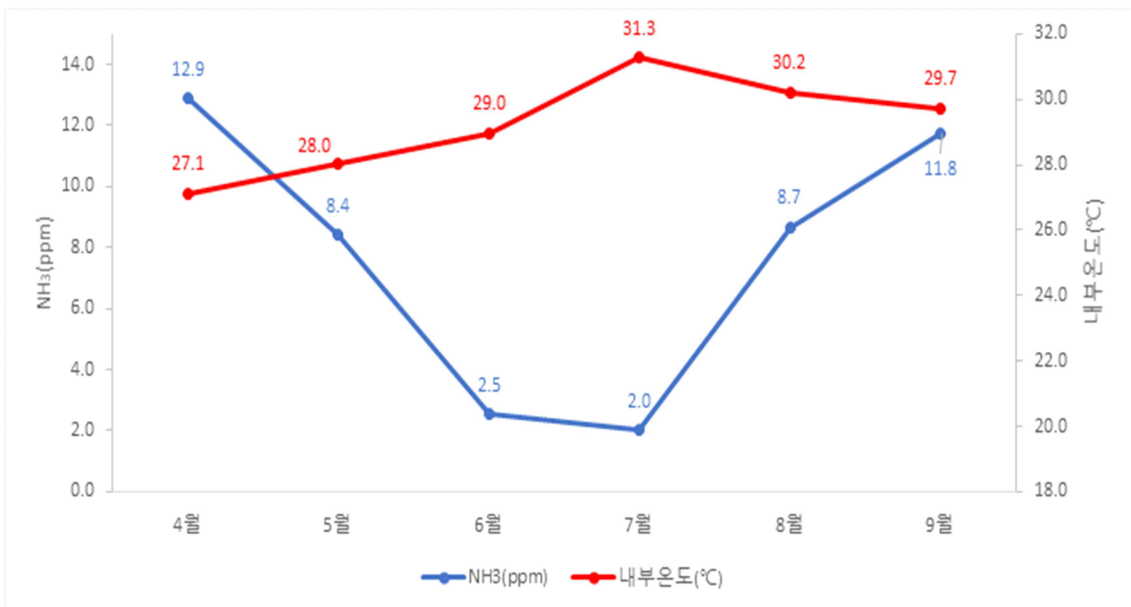
<표 42> 액비순환시스템 무창·유창돈사 월별 암모니아(NH₃) 측정값 통계분석 결과

구분	암모니아 측정값(NH ₃)					
	4월	5월	6월	7월	8월	9월
액비순환시스템 (유창돈사)	13.8±4.6 ^a	8.7±0.5 ^b	7.0±1.9 ^b	7.2±0.8 ^b	6.0±0.3 ^b	5.9±0.3 ^b
액비순환시스템 (무창돈사)	12.9±2.6 ^a	8.4±1.8 ^b	2.5±0.8 ^c	2.0±0.1 ^c	8.7±2.3 ^b	11.8±2.8 ^{ab}

a-c Means with different superscript in the same column are different (p<0.05).



<그림 5> 액비순환시스템 유창돈사 월별 암모니아(NH₃) 측정값 변화 추이

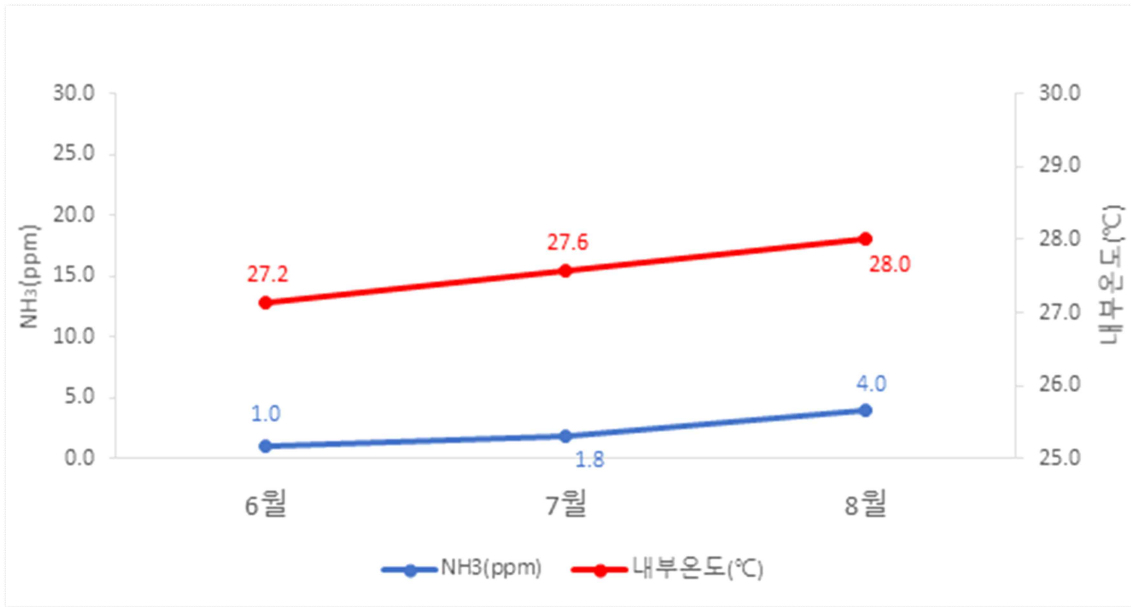


<그림 6> 액비순환시스템 무창돈사 월별 암모니아(NH₃) 측정값 변화 추이

<표 43> 퇴비사 밀폐 월별 암모니아(NH₃) 측정값 통계분석 결과

구분	암모니아 측정값(NH ₃)		
	6월	7월	8월
퇴비사 밀폐	1.0±0.42b	1.8±1.15b	4.0±0.31a

a-b Means with different superscript in the same column are different ($p < 0.05$).

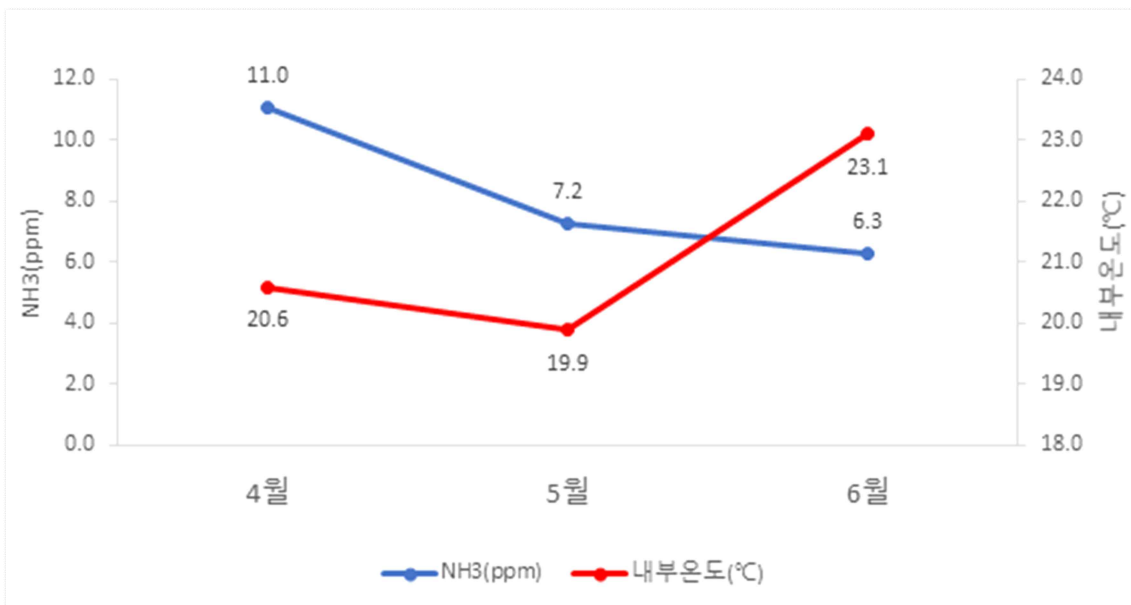


<그림 7> 퇴비사밀폐 농가 월별 암모니아(NH₃) 측정값 변화 추이

<표 44> 미생물배양 슬러리투입 돈사 내부온도-암모니아(NH₃) 측정값 통계분석 결과

구분	암모니아 측정값(NH ₃)		
	19.9°C	20.6°C	23.1°C
미생물제재 활용	7.2±0.95b	11.0±1.79a	6.3±1.37b

a-b Means with different superscript in the same column are different ($p < 0.05$).



<그림 8> 미생물배양 슬러리투입 돈사 내부온도-암모니아(NH₃) 측정값 변화 추이

라. 돈사 외부 악취저감시설 효능평가

1) 연구조사 방법

- 돈사 외부의 악취저감효과를 규명하기 위해, 광역축산악취개선 사업대상농가(115개소)를 대상으로 서면조사를 실시하였고, 그 중 사업추진이 완료된 축산농가 36개소를 중심으로 시설별 악취저감효과 규명
- 광역축산악취개선사업 참여 농가의 경우 대부분 2개 이상의 저감시설을 중복으로 설치함에 따라 시설설치 전 측정된 암모니아 수치와 시설 설치 후 암모니아 수치를 중심으로 비교하였으며, 동일한 컨설팅 인원이 참여하여 악취측정 후 비교
- 주요 사용된 악취저감기술은 바이오커튼, 안개분무시설, 액비순환시스템, 퇴비사 밀폐, 탈취탑 등의 상요 되었으며, 악취측정 방법은 기체식 검지관과 디지털 측정기를 동시 활용하여 이중 측정함
 - 광역축산악취개선사업 특성상 지역별로 구분하여 사업이 완료 되었으며, 주요 대상농가(115개소)는 충남 논산(15개소), 천안(2개소), 경북 영천(15개소), 경산(18개소), 경남 고성(34개소), 의령(19개소), 제주(7개소) 중 사업추진 농가(36개소)를 중심으로 각각 충남 논산(15개소), 천안(1개소), 경북 영천(9개소), 경산(3개소), 경남 고성(8개소)를 조사하였음

<돈사외부 악취저감 적용 기술 개요>

1. 바이오커튼

- 측벽배기를 하는 무창돈사에 반쪽하우스 형태의 파이프 구조에 차광막처럼 된 커버를 씌워 돈사내에 배출되는 먼지와 악취를 화학적 특성을 이용해 중화, 희석 등의 방법으로 악취의 확산을 줄이도록 하는 방법
- 일반적으로 바이오커튼 내부에 사용되는 물질은 물, 이산화염소, 오존수, OH라디칼, 기타 미생물제, 마스크제 등을 혼합하여 사용함.

바이오커튼 설치사진



바이오커튼(천안 C농장)

돈사에서 배출되는 냄새물질을 포함한 분진이 바람에 확산되는 것을 막기 위한 차광막(2~3겹)

* 배기팬의 공기 저항을 줄이기 위해 축사 측벽 상부를 5~10cm 떨어뜨려 설치

* 차광막 내부에 이산화염소나 물(오존수 등) 분무 시 냄새 저감 효율을 증진

2. 액비순환시스템 개요

- 양돈장에 적용되는 액비순환시스템은 돈사 환경개선, 액비화 처리 및 악취저감 등 다목적으로 활용되며 액비화 처리를 위한 발효과정과 발효액비의 돈사 내·외부 순환과정으로 구성됨.
- 돼지가 배설한 분뇨가 혼합된 형태인 슬러리를 호기성 액비화 처리 후 그 액비의 일부를 돈사 하부 분뇨 피트로 투입하면 피트 내에 있는 슬러리와 혼합되어 돈사 밖으로 배출되고 유량조절, 폭기처리 및 혐기처리 등 여러단계의 액비화 처리과정을 거쳐 액비저장조에 저장됨.
- 순환을 위한 순환액비는 따로 저장과정을 거친 후 돈사내 슬러리 피트로 순환되는 과정을 계속 반복하게 됨(하 외 1, 2015, 액비순환시스템의 양돈장 악취저감 효과).
- 액비순환시스템을 적용하게 되면 슬러리피트에 미생물로 우점화된 액비가 지속적으로 유입됨으로써 피트 하부에 분뇨의 혐기발효가 억제되어 악취유발 공저의 감소로 양돈장 전체 악취발생을 크게 줄일 수 있으며, 그 외에 폐사율 감소, 출하일수 단축, 시설 유지비용 절감 등의 부수적 이익을 얻을 수 있음(한국환경공단 악취관리센터, 2014, 업종별 악취관리 사례집).

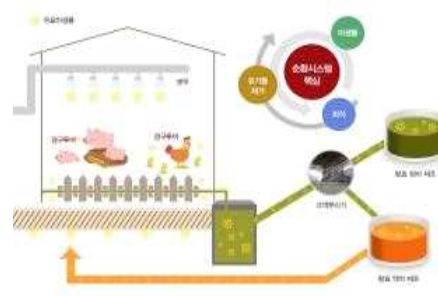
액비순환시스템 모식도

- 슬러리를 고액분리와 호기발효를 거쳐 냄새가 적은 발효액비로 생산한 후, 돈사 피트로 재순환시켜 피트 내 슬러리가 부패되기 전에 신속 배출하여 냄새물질 발생을 차단

* 돈분뇨와 발효액비를 3:7로 혼합 후 3주 경과 시 냄새물질 변화



영천 S 농장 (액비순환시스템 배관연결 사진)



액비순환시스템 구조

3. 안개분무

- 돈사 내 주요 악취성분인 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)는 물에 잘 녹는 성분으로 돈사 내에 물을 분사해주는 것만으로 악취를 줄이는 효과가 있고 악취를 분해하는 약품을 혼합해 사용하면 더욱 좋은 효과를 기대할 수 있음.
- 또한 돈사 내에서 발생하는 악취는 대부분 먼지와 결합해 확산되고, 이는 가축의 호흡기로 유입돼 질병을 유발하기 때문에 돈사 내 안개분무 시설은 습도와 온도관리를 간편하게 할 수 있으나 노즐 막힘 등에 대한 관리가 필요함.

돈사 내 안개분무 사용사례



충북 음성 U 농장

- [충북 음성 U농장] 농업기술센터에서 공급하는 미생물제를 이용하여 돈사 내 안개분무
- * 고초균(바실러스), 광합성균, 질화세균을 1:2:2로 혼합살포



고성 D 농장

- [축산환경관리원-축산악취 관리 지침서] 돈사 내 미생물 분무 활용방법
- * 미생물 배합비율(고초균(1), 광합성균(2)),
- * 혼합된 배양액을 300~400배로 희석 축사 내 살포
- * 슬러리 100평당 5ℓ

4. 스크러머(세정탑)

- 세정수를 순환하여 공기 중에 있는 분진과 냄새물질을 제거한 후 배출하는 시스템으로 세정탑 상단에서 노즐을 통해 분사시켜 물과 악취가스의 기액접촉에 의해 흡수시켜 처리함.
- 분뇨처리장 액비발효시 발생하는 암모니아, 황화수소를 포집하여 제거(내장된 셀구조를 통한 물 분사 및 필터링장치가 주특징)
- 약품 주입시 악취저감 효율이 우수하며 운전방법이 간단하지만, 설치비가 고가이며 정기적 폐수처리 필요(한국환경공단 악취관리센터, 2014, 업종별 악취관리 사례집)

스크러머(세정탑)



스크러머(자료사진)

- | | |
|--------|--|
| 산 스크러머 | - 돈사 냄새물질 중 농도가 높은 암모니아, 아민이 산에 잘 용해되는 성질을 이용하여 흡수시켜 제거하는 방법으로 주로 황산을 사용 |
|--------|--|



포집형 탈취탑

- | | |
|----------|---|
| 바이오 스크러머 | - 냄새물질을 세정탑으로 통과시켜 오염물질을 물에 흡수시킨 후 용해된 오염물질을 포함하는 물을 폭기조에서 미생물의 활동에 의해 제거 |
|----------|---|

- | | |
|-------------|---|
| 바이오 트리클링 필터 | - 바이오필터와 바이오스크러머가 혼합된 형태로 분무되는 세정수로 오염물질을 흡수시킨 후 고정 미생물 담체에서 제거 |
|-------------|---|

2) 연구조사 결과<주요 기술별 악취저감 효과>

- 규명한 악취저감 기술의 경우 6개 기술 바이오커튼, 안개분무시설, 액비순환시스템, 퇴비사 밀폐, 액비저장조 밀폐, 탈취탑이 있으며, 농가 외부 배출시설 5m 내외에서 암모니아(NH₃) 가스를 측정하였음
- 측정결과 바이오커튼, 안개분무시설, 액비순환시스템, 퇴비사 밀폐 등의 경우 시설 설치전보다 유의적으로 암모니아 수치가 저감되었으며, 탈취탑의 경우 농가에 설치된 배기 시설의 위치에 따라 편차가 발생함에 따라 유의적 차이는 나타나지 않음

<표 45> 지역별 암모니아 발생현황

구분	지역		대상(개소)			
	시도	시군	소계	암모니아 (NH ₃) 5ppm 미만	암모니아 (NH ₃) 10ppm 미만	암모니아 (NH ₃) 10ppm 이상
'16	충남	논산	15	6	6	3
		천안	1	1	-	-
	경남	영천	9	4	3	2
		고성	8	5	3	-
'17	경북	경산	3	3	-	-
합계		5지역	36	19	12	5

* 측정기기 : 직독식 검지관식 기체측정기(GASTEC, GV-100S)/디지털 측정기(GasAlertMicro 5) 병행 측정

- 바이오커튼의 경우 암모니아 저감효과가 뛰어났으나, 지하수 등을 활용하는 농가의 경우 석회성분 등이 함유된 지역의 경우 노즐 막힘 현상이 빈번하게 발생함에 따라 청소와 정기적인 점검이 필요
- 안개분무 시설의 경우 사용되는 마스크제, 소취제 등에 따라 운영 시간이 제각각이었으며, 민원발생이 빈번한 시설의 경우 권장 사용 시간보다 자주 사용함에 따라 비용발생 측면에서 문제가 있어 농가에서 사용시 제한 발생(권장 1회/60분 주기, 민원발생 1회/10분)
- 액비순환시스템의 경우 내외부 악취저감에 가장 효과적이었으나, 액비순환시스템이 정착되기전 농장주의 세심한 관찰이 필요하였으며, 액비순환시스템이 정착된 농가의 경우 분뇨발생량 감소, 생산성 증가, 악취저감의 효과가 있었으나, 초기 투자비용이 높고, 기술적 수요가 많은 단점 발생
- 퇴비사와 액비저장조의 경우 밀폐가 이루어지는 순간 악취저감효과가 발생하였으며, 지속적인 유지관리비가 발생하지 않았으나, 퇴비사의 경우 수분조절제 등을 부적절하게 사용하는 경우 이슬 맺힘, 침전수 발생 등의 문제가 발생함에 따라 퇴비 관리에 노력이 필요
- 탈취탑의 경우 비교적 효과가 뛰어났으나 측사시설에 설치된 환기방법 및 탈취탑의 적정

용량 등에 따라 동일 농장내에서도 암모니아 농도의 변화가 심했으며, 초기 설치 비용이 비싸고, 정기적 폐수(약품) 처리, 약품 보충 등의 제한사항이 발생하였음

<표 46> 악취저감시설별 악취저감 효과

항목	개소(N)	시설설치전 (NH ₃)	시설설치후 (NH ₃)	t	자유도	유의확률(p)
바이오커튼	31	11.5	5.3	5.0	30	0.000**
안개분무시설	20	10.9	7.1	2.6	19	0.018*
액비순환시스템	20	13.9	2.8	3.8	19	0.001**
퇴비사밀폐	14	14.1	4.4	2.3	13	0.041*
액비저장조	2	37.5	2.5	2.7	1	0.226
탈취탑	7	10.0	6.0	1.3	6	0.234

<표 47> 농가별 악취측정결과 1

농장명	사육 두수	설치내역	악취측정 결과(NH ₃ , ppm)			
			장소	전	후1	후2
선○농장	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	13	5	3
성○축산	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	15	8	12
중○농장	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사 1	5	3	0
			비육사 2	5	2	0
문○농장	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	20	10	20
디○들	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	10	5	0
논○축협	-	· 퇴비화시설밀폐 · 액비화시설밀폐	퇴비창고 1	50	15	0
			퇴비창고 2	50	10	0
			퇴비창고 3	27	10	0
			액비화시설 1	50	6	2
			액비화시설 2	25	5	3
양○농장	2,200	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	3	15	12
자○농장	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	20	8	4
돈○나	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	10	5	5

농장명	사육 두수	설치내역	악취측정 결과(NH ₃ , ppm)			
			장소	전	1차	2차
광○단지	-	· 단지외부펜스, 방풍목 · 액비순환설비 설치공사 · 액비저장조 설치공사	액비저장조	5	3	0
대○농장	3,500	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사 1	15	10	5
			비육사 2	13	10	5
에○에셀	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	15	7	6
피○랜드	2,500	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	12	7	5
양○농장A	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사 1	6	15	10
			비육사 2	10	5	9
송○농장	2,000	· 악취저감 커튼시설 · 악취저감시설	비육사	8	6	5

<표 48> 농가별 악취측정결과 2

농장명	사육 두수	설치내역	악취측정 결과(NH ₃ , ppm)		
			장소	전	후
천○농산	10,000	· 퇴비사 밀폐 · 악취탈취탑 · 액비순환시스템 · 돈사개조(슬러리 피트)	비육사	5	2
			퇴비사	1	5
			액비저장조	5	5
삼○농장	2,800	· 퇴비사 시설 밀폐 · 악취저감 탈취시설	육성사	10	17
			비육사	7	3
			퇴비사	5	27
금○농장	1,500	· 바이오커튼 · 퇴비사 밀폐	비육사	10	10
			액비저장조	250	175
금○농장	1,500	· 바이오커튼 · 퇴비사 밀폐	육성사	23	10
			임신사	2	5
			퇴비사	20	10
원○축산	1,800	· 바이오커튼	육성사	15	2
			퇴비사	15	-
후○네	2,500	· 바이오커튼	비육사	10	10
한○농장	2,100	· 퇴비사밀폐, 안개분무 · 이산화염소 발생장치	육성사	18	30
성○농장	8,500	· 바이오커튼 · 저장조 탈취시설	자돈사	15	5
			비육사	23	5
			저장조	50	0
			퇴비사	1	5
송○양돈	2,500	· 퇴비사 시설 밀폐 · 악취저감 탈취시설	비육사	10	13
			퇴비사	18	2

농장명	사육 두수	설치내역	악취측정 결과(NH ₃ , ppm)		
			장소	전	후
유○농장B	1,800	· 미생물배양기 · 액비순환시스템	비육사	5	3
			액비저장조	5	0
민○농장	1,300	· 바이오커튼 · 액비순환시스템	육성사	4	0
			자돈사	3	0
			비육사	25	1
천○농장	3,000	· 바이오커튼 · 액비순환시스템	비육사	15	5
			퇴비사	10	5
영○농장	1,300	· 악취저감 탈취시설 · 액비순환시스템	비육사	축사신축	2
			퇴비사	축사신축	2
			액비저장조	축사신축	0
은○축산	1,100	· 미생물배양기 · 액비순환시스템	비육사1	10	6
			비육사2	50	7
			액비저장조	10	3
대○축산	2,200	· 미생물배양기 · 액비순환시스템	분만사	10	3
			비육사	25	4
			액비저장조	350	10
안○축산	1,800	· 악취저감 탈취시설	비육사1	7	3
			비육사2	7	10
해○농장	1,900	· 바이오커튼 · 액비순환시스템	자돈사	17	5
			분만사	2	3
			퇴비사	10	3
			액비저장조	5	5
변○태농장	352 (모돈)	· 액비순환시스템 · 안개분무시스템 · 퇴비사 밀폐 · 액비저장조(400톤)	모돈사	5	1
			퇴비사	4	1
			액비저장조	7	2
봉○농장	1,780	· 액비순환시스템 · 안개분무시스템 · 퇴비사 밀폐 · 액비저장조(400톤)	육성사	5	2
			비육사	8	7
			퇴비사(밀폐)	10	1
설○농장	40,000	· 퇴비사 개보수 · 돈사, 액비저장조 악취포 집시설	부지경계	1	0
			비육사(외)	2	1
			퇴비장(외)	8	0
			세정탑	7	0
남○농장	1,400	· 바이오커튼 · 악취저감 탈취시설	비육사	10	3
			자돈사	3	2
			퇴비사	5	-

마. 돈사 내·외부 악취저감시설 초기투자 비용·운영 대비 악취저감 효율분석

1) 연구조사 방법

- 광역축산악취개선사업 대상농가를 중심으로 2월부터 8월까지 서면조사를 실시하여 설치된 시설 및 사업비를 확인하였으며, 주요 설치된 시설을 중심으로 악취저감시설의 투자비용을 산출 - 시설설치가 완료되어 악취저감시설이 원활하게 운영중인 농가(35개소)를 중심으로 한돈팜스 및 생산성 분석비용을 조사하여 생산성 향상 등의 분석하였다.

2) 연구조사 결과

- <표 49> 에서와 같이 악취저감 5개 기술, 20개 시설업체의 시설비를 분석하여 초기 투자비용을 산출하였으며, 악취저감시설 설치에 의한 생산성 향상 등의 자료는 악취저감시설 설치가 완료된 2개 농장을 대상으로 한돈팜스, 현장조사를 통해 악취저감시설 설치전과 설치후의 생산성 변화 경향을 확인.

<표 49> 주요 악취저감시설 설치비용

분류	액비순환시스템	바이오커튼	안개분무	탈취탑	퇴비장밀폐
설치비용 (백만원)	240	88	19~28	169	20
비 고	2,400두	1,740두	1,800~2,200두	10,000두	-

- 악취저감시설을 지원하여 설치가 완료된 농장(2개소)을 대상으로 시설 설치 전('17년)과 설치 완료 후('18년)을 대상으로 각 생산성 변화를 확인하였다. 설치된 악취저감시설의 경우 액비순환시스템, 바이오커튼, 미생물 배양기를 설치하여 운영 중이며, 액비순환시스템의 경우 운영초기단계로서 농장 환경에 맞는 운영 노하우 등이 정착되기까지 일정시간이 필요
- 악취저감이 설치된 농가의 경우 PSY, MSY 등은 큰차이가 없었으나, 출하일령($\Delta 13$ 일) 및 사료요구율($\Delta 0.11$)은 향상되는 경향을 보여 악취저감에 따른 사육환경에 대한 변화가 생산성에 도움
- 광역축산악취개선사업 대상농가를 중심으로 사례를 조사함에 따라 현재 악취저감시설이 완료된 기간 및 시설 적용 등의 효과를 명확하게 규명 후 비용·운영 등에 대한 분석이 필요
- 향후 표본농가확보, 사료비용 저감, 돈사 출하량 변화, 지역민원감소에 따른 사회적 비용 향상 등에 대한 면밀한 조사 후 악취저감에 대한 효율성 분석 정립 필요

<표 50> 악취저감시설 설치에 따른 생산성 변화

년도	모돈 두수	분만율	모돈 회전율	총이유 두수	PSY2	MSY	WSY	육성율	출하 일령	사료 요구율
'17	110	86	2.10	191	21.3	18.0	2,058	93	225	3.47
'18	108	85	2.11	202	22.9	17.6	2,011	84	212	3.36

바. 돈사 내·외부 악취저감시설의 경제성 평가

1) 연구조사 방법

- 악취저감시설의 경제성 평가를 위해 광역축산악취개선사업 중 수요가 많은 바이오커튼, 안개분무시설, 액비순환시스템, 퇴비사 밀폐, 탈취탑을 중심으로 악취저감효과를 검증하였고, 악취저감효과가 있는 시설을 중심으로 설치비용 및 운영비를 산정
 - 선별된 농가의 경우 ICT 장비를 설치하여 6개월 이상의 악취발생 현황을 분석하였고, 이를 바탕으로 농가의 수익성(3개소)을 분석하여 농가별 수익성을 검토
 - 수익성이 검토된 농장을 중심으로 악취저감시설별 2~3개 설치사업자를 대상으로 실제 설치비용 및 운영비를 세부적으로 조사하여 비교하였으며, 세부내역은 다양한 형태의 시공비 산정을 위해 바이오커튼·안개분무 2개 사업자, 액비순환시스템 3개 사업자, 퇴비사 밀폐의 경우 2개 사업자를 대상으로 조사 분석
- 농가 수익성의 경우 '16년~'18년 까지의 비육돈 1마리당 발생하는 순수익을 반영하여 결정하였고, 위탁농가의 경우 계약서상에 표시된 1마리당 출하시 발생하는 이익을 기준으로 산정하여 반영(통계청)
 - 수익의 경우 총수익을 기준으로 일반비(가축비, 사료비, 수도광열비, 자동차비, 농구비, 영농시설비, 기타재료비, 차입금이자, 토지임차료, 고용노동비, 분노처리비, 생산관리비, 기타비용)과 사육비(자가노동비, 자본용역비, 토지이용비) 등을 포함하여 산정
 - 3차년도 수익성 평균 71,898원/마리('16년 81,699원/마리, '17년 85,594, '18년 48,400)을 기준으로 출하두수 등을 기준으로 악취저감시설 설치 전·후의 비용을 산정
 - 기타 수익에 영향을 미칠 수 있는 육성을 및 사료요구율의 경우 유의적인 차이가 발생하지 않음에 따라 일부 비용 산정에서 제외 후 계상
- 설치비용의 경우 공사비용, 일반관리비, 사업자 이윤, 공급가액, 부가가치세 등을 최대한 세분화하여 제시하기 위해 노력하였으나, 축사시설의 표준화 등의 제한으로 인해 표준 사업비 제정 등에는 어려움이 있음
 - 기타 세부적인 사항 및 시설 설치 업체의 기술에 따라 설치비용 등에 차이가 발생하나, 세부적인 기술소개의 경우 기술 유출 등의 이유로 제한적 반영
- 운영비의 경우 안개분무, 바이오커튼의 경우 약품 및 전기료를 포함하여 산정하였고, 액비순환시스템의 경우 전기료만을 산정, 기타 감각삼각비 등의 경우 제외

2) 연구조사 결과

- 생산비용의 경우 바이오커튼과 안개분무를 설치한 농장의 경우 악취저감시설을 설치 전·후를 비교하였을 때 6백만원/년 정도의 순수익이 상승하였고, MSY가 평균 0.92마리로 상승함에 따라 총 출하 두수가 약 84마리/년 증가함에 따라 수익이 증가
 - 해당 농장의 경우 ICT 장비를 설치함에 따라 악취발생에 대한 경각심을 가지고 수치를 활용하기 위해 노력하였고, 특히 여름철 온도 및 습도 등을 관리하기 위해 많은 노력을 기울임에 따라 위의 결과가 나타난 것으로 사료

- 액비순환시스템 적용 농가의 경우 2개 농가를 대상으로 수익성을 분석. 무창 돈사 및 개방형 돈사를 대상으로 분석하였고, 최초 농장의 규모는 2,000두를 기준으로 적용하여 계상
 - 개방형 축사의 경우 위탁농장으로써 출하 성적을 바탕으로 마리당 40,000원을 지급하도록 계약함에 따라 시설 설치전 평균 2,704마리가 출하되던 것이 액비순환시스템('17년 설치 후 약 2년 운영)을 설치 후 3,875마리로 증가하여 출하두수가 약 1,000마리 정도 증가하는 등 급격한 생산성이 향상, 이는 순수익으로 환원하였을 때 평균 44,600,000원 정도가 증가함을 보였으며, 사료 요구율, 육성을 등이 증가함에 따라 부가적인 순수익이 늘어났음.
 - 기타 발생하던 3~4회/월 민원이 액비순환시스템이 정착하기 시작한 '18년부터는 년 3~4회 정도로 감소하였으며, 이는 설치된 ICT 장비에서 측정된 결과치에서도 확인이 가능하였음 (평균 암모니아 발생량이 13ppm에서 5ppm으로 감소)
 - 이에 비해 무창형 돈사의 경우 거의 비슷한 시기에 액비순환시스템을 설치하였음에도 액비순환시스템의 관리가 부족하여 오히려 순수익이 설치전보다 감소하는 모습이 나타났음, 최초 액비순환시스템을 설치하여 시범운영 기간 후 정상가동시 악취가 급격히 감소하였으나, '18년 7월경 주변 농가에서 돼지 유행성 설사병(PED)이 발생함에 따라 농장주의 자의로 축사 내·외부에 소독(약 2주 실시)을 실시함에 따라 액비순환시스템에 구축된 미생물이 사멸하였고, 이에 따라 축사내 환경이 급격히 악화됨에 따라 생산성에도 영향을 미쳤음
- 수익의 경우 악취저감시설이 설치된 농장을 중심으로 외부 악취를 개선하는 시설의 경우 약 600만원의 수익이 증가하였고, 액비순환시스템의 경우 축사 내부 환경을 개선하는 효과가 비교적 뛰어나에 따라 4,600만원 이상이 늘어난 반면, 운영이 미흡한 경우 오히려 시설 내 환경이 악화됨에 따라 1,800만원의 수익이 감소
 - 축사악취저감시설의 경우 단순히 설치만으로 악취가 감소하고, 수익 증대효과가 나타나는 것이 아니라, 시설을 운영·관리하는 방법 등에 의해 차이가 발생했고, 기타 농장주의 관심에 따라서도 효과가 차이가 발생
 - 금번 생산성을 분석한 농가의 경우 시설 투자비가 지원된 농장임에 따라 농장주들의 환경개선 및 악취저감 의지가 강력함에 따라 유무형적인 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 향후 객관적인 생산성 등을 파악하기 위해서는 좀 더 객관적으로(농장주의 관리 정도, 관심정도)를 제외한 분석이 필요할 것으로 판단

<표 51> 농가별 생산성 분석

농가	악취시설	구분	출하 두수	모든 두수	MSY	사료 사용량(톤)	사료 요구율	수익(원)
00농장	바이오커튼 안개분무	설치전	1,841	91.0	20.23	591	2.99	132,364,218
		설치후	1,925	91.0	21.15	634	3.02	138,403,650
		증감	118	0	1.10	47	△0.03	6,039,432
00축산 (위탁)	액비순환 시스템 (개방형 축사)	설치전	2,704	-	-	-	3.32	108,160,000
		설치후	3,875	-	-	-	2.89	155,000,000
		증감	1,171	-	-	-	0.43	46,840,000
00농장	액비순환 시스템 (무창형 축사)	설치전	2,175	122	17.89	847	3.65	155,353,725
		설치후	1,921	120	15.96	747	3.57	137,211,267
		증감	△254	△2	△1.93	△100	△0.08	△18,142,458

□ '16년 비육돈 수익성(마리당)

(단위: 원)

구 분	'14 (a)	'15 (b)	사 육 규 모 별('16)					증감률(%)	
			1,000마리 미만	1,000~ 1,999	2,000~ 2,999	3,000마리 이상	평 균 (c)	c/a	c/b
◇ 총수입 (A)	398,089	404,220	394,242	384,362	386,526	380,085	382,972	-3.8	-5.3
- 비육돈판매	396,533	402,754	390,745	383,501	385,748	378,360	381,403	-3.8	-5.3
- 부산물수입	46	53	699	104	14	143	161	250.0	203.8
- 기타수입	1,510	1,413	2,798	757	764	1,582	1,408	-6.8	-0.4
◇ 일반비 (B)	301,289	293,658	338,136	302,566	304,032	273,379	288,565	-4.2	-1.7
◇ 사육비 (C)	313,608	307,077	370,138	318,897	316,286	282,701	301,273	-3.9	-1.9
◇ 소 득 (A-B)	96,800	110,562	56,106	81,796	82,494	106,706	94,407	-2.5	-14.6
◇ 순수익 (A-C)	84,481	97,143	24,104	65,465	70,240	97,384	81,699	-3.3	-15.9

□ '17년 비육돈 수익성(마리당)

(단위: 원)

구 분	'15 (a)	'16 (b)	사 육 규 모 별('17)					증감률(%)	
			1,000마리 미만	1,000~ 1,999	2,000~ 2,999	3,000마리 이상	평 균 (c)	c/a	c/b
◇ 총수입 (A)	404,220	382,972	400,846	394,776	414,176	408,554	406,600	0.6	6.2
- 비육돈판매	402,754	381,403	398,280	394,259	413,271	406,853	405,152	0.6	6.2
- 부산물수입	53	161	138	103	8	47	57	7.5	-64.6
- 기타수입	1,413	1,408	2,428	414	897	1,654	1,391	-1.6	-1.2
◇ 일반비 (B)	293,658	288,565	361,199	325,015	324,400	291,884	307,836	4.8	6.7
◇ 사육비 (C)	307,077	301,273	396,584	342,603	336,923	301,542	321,006	4.5	6.5
◇ 소 득 (A-B)	110,562	94,407	39,647	69,761	89,776	116,670	98,764	-10.7	4.6
◇ 순수익 (A-C)	97,143	81,699	4,262	52,173	77,253	107,012	85,594	-11.9	4.8

□ '18년 비육돈 수익성(마리당)

(단위: 원)

구 분	'16 (a)	'17 (b)	사 육 규 모 별('18)					증감률(%)	
			1,000마리 미만	1,000~ 1,999	2,000~ 2,999	3,000마리 이상	평 균 (c)	c/a	c/b
◇ 총수입 (A)	382,972	406,600	380,185	371,742	371,997	370,029	371,698	-2.9	-8.6
- 비육돈판매	381,403	405,152	375,941	369,846	370,579	368,195	369,696	-3.1	-8.8
- 부산물수입	161	57	406	42	71	273	202	25.5	254.4
- 기타수입	1,408	1,391	3,838	1,854	1,347	1,561	1,800	27.8	29.4
◇ 일반비 (B)	288,565	307,836	363,035	333,075	288,416	296,672	309,075	7.1	0.4
◇ 사육비 (C)	301,273	321,006	400,021	352,928	300,570	305,998	323,298	7.3	0.7
◇ 소 득 (A-B)	94,407	98,764	17,150	38,667	83,581	73,357	62,623	-33.7	-36.6
◇ 순수익 (A-C)	81,699	85,594	-19,836	18,814	71,427	64,031	48,400	-40.8	-43.5

<그림 9> 연도별 비육돈 수익성

<표 52> 악취저감시설 설치 및 운영 비용

(단위 : 천원)

구분	업체	공사비용				일반 관리비	이윤	공급 가액	부가 가치세	기타 (설계 비 등)	총 공사비	운영비 (월)	기타
		재료	노무	경비	소계								
바이오커튼+ 안개분무 (60m 1동/1단)	A	30,939	10,182	6,910	48,031	2,882	2,996	53,900	53,900	-	59,299	71	이온수 제조기 축산악취제거기 (26,542천원 포함)
바이오커튼	B	7,514	4,033	462	12,009	721	730	13,459	1,346	200	15,005		
안개분무		8,644	3,971	505	13,119	787	737	14,643	1,464	200	16,308		
바이오커튼+ 안개분무 (100m 1동/1단)		16,158	8,004	966	25,128	1,508	1,467	28,102	2,810	400	31,313	80	
액비순환시스템 (30톤/일)	C	143,154	25,400	7,257	175,811	10,549	4,320	190,680	19,068	-	209,748	2,845	
액비순환시스템 (20톤/일)	D	341,263				-	34,126	377,261	37,726	-	413,115	1,101	
액비순환시스템 (10톤/일)	E	74,460	12,000	3,000	89,460	4,473	1,947	95,880	9,588	-	105,468	913	건축/토목제외 원심분리기 제외
퇴비사 밀폐 (96평)	F	11,756	5,728	1,672	19,156	-	-	-	-	-	19,156	-	C/S 100T
퇴비사밀폐 (100평)	G	17,000	20,000	13,000	50,000	-	-	-	-	-	50,000	-	C/S 0.5T PE강판 +아연각파이프

* 상기 재원은 시공사, 자원, 기술, 인건비, 설치 위치 및 용량 등에 따라 변화가능(참고용으로 활용)

* 운영비의 경우 전기료, 약품 등 값을 포함(전기료 : 전기사용량 × 농사용 전력 4계절 요금 평균/41.2원/kWh)

- 악취저감시설의 투자에 대해서는 아래 <표 52>에서와 같이 공사비가 소요
 - 바이오커튼 및 안개분무 같은 경우 설치 축사의 측면 길이, 동수 등에 따라 다양하게 비용이 발생하였으며, 100m를 기준으로 안개분무와 바이오커튼을 설치할 경우 약 3,000만원 정도의 비용이 소요되었으며, 별도로 이온수 제조기, 기타 악취제거 시설을 별도 설치할 경우 약 6,000만원의 설치 비용이 증가
 - 액비순환시스템의 경우 일일 처리물량, 운영방법에 따라 설치 및 운영비용이 달랐으며, 각각 다른 시설을 기준으로 산정하더라도 2,000두 기준(10톤) 약 2억원의 비용이 발생하였으며, 설치 저장조, 고액분리시설 설치유무, 미생물 등의 투입여부 등의 액비순환시스템 운영 방법에 따라 비용이 상이하게 발생(액비순환시스템의 경우 각 시스템별 기술에 대한 특허 등이 존재하여 세부적인 기술 소개는 제외)
 - * 특히 원심분리기의 활용 여부 등에 따라 기본 설치비용이 증가하였으며, 일부 시설업체의 경우 원심분리기를 운영하지 않음에 따라 비교적 사업비가 감소
 - 퇴비사 밀폐의 경우 사용 자제에 따라 총공사비가 차이가 났으며, 비용이 증가하는 경우는 부식 등의 내구성을 강조할 경우 비용이 급격히 증가하였으며, 단순 시설 밀폐의 경우 비교적 저렴한 사업비가 산정됨에 따라 향후 시설 운영 형태에 따라 수명 등을 검토할 필요성 존재(일부 퇴비장의 경우 가스 등이 발생함에 시설 부식 가속화)

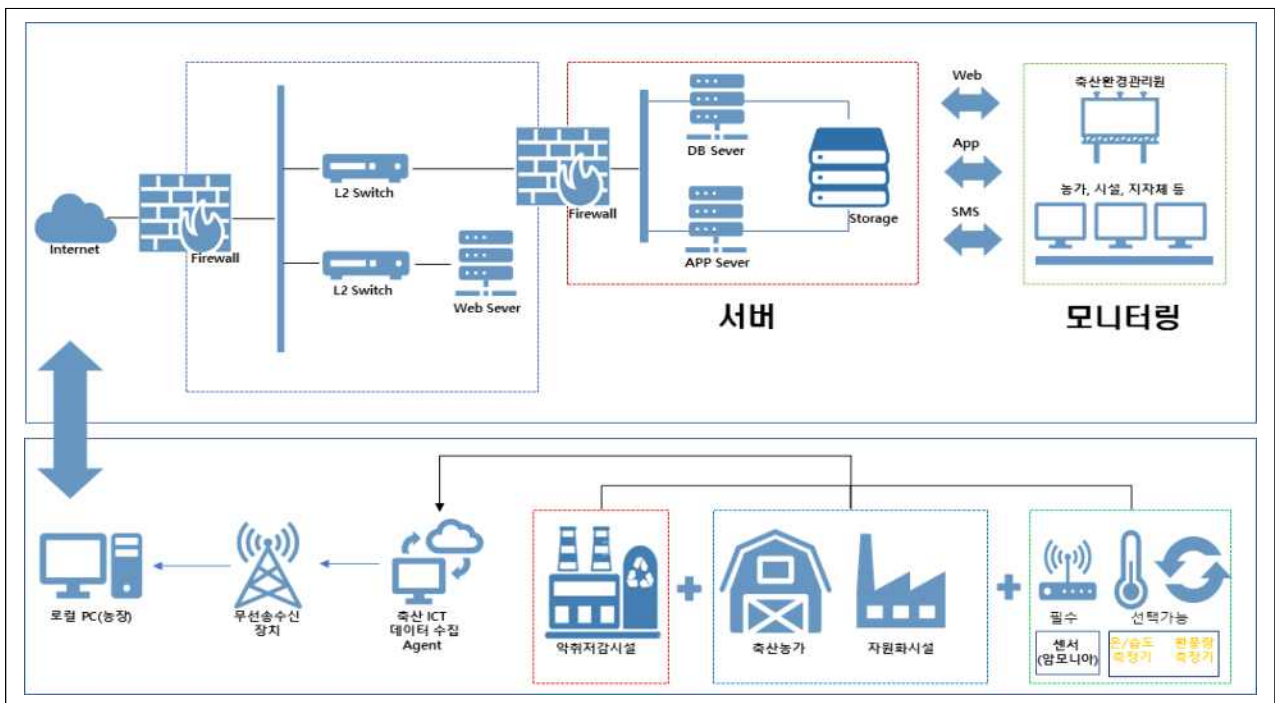
사. 악취저감 및 경제성 등을 고려한 실증 기술 개발

1) 기술 개발 배경

- 현재 분류된 악취저감시설의 경우 내외부의 기능에 따라 저감시설을 분류하여, 악취저감 정도 및 경제성 등을 평가하여 대표적인 악취저감기술을 제시
 - 국내에 대표적으로 이용하고 있는 악취저감시설을 검토한 결과 바이오커튼, 안개분무시설, 액비순환시스템, 퇴비사 밀폐, 탈취탑이 효과적인 악취저감시설로 검토 되었으나, 일부 농가의 경우 운영상의 문제로 인해 시설 투자비 대비 효과가 미비
 - 일부 농가의 경우 수동적으로 악취저감시설을 운영함에 따라 효과가 미비하였고, 잘못된 사용 방법으로 과도한 운영비에 비해 효과가 미비함, 특히 미생물, 악취저감제 등을 활용하는 경우 농가의 시설 및 형태에 따라 사용용량, 방법 등을 특정하기가 쉽지 않고 효과 검증 시 어려움이 발생함에 따라 향후 면밀한 검토가 필요
- 대부분의 악취저감시설의 경우 악취저감에 효과가 있음에도 불구하고, 악취저감 효과가 제한 되는 축사의 경우 대부분 농장 및 시설에서의 자의적인 운영으로 인해 문제가 발생하는 것이 대부분으로 향후 악취저감시설의 효과적인 운영을 위해서는 객관적인 관리 기준이 필요하며,
 - 농장주의 감각에 의한 운영이 아닌 객관화된 수치를 제시하여 운영할 필요성이 존재함에 따라, 축산환경관리원에 기 구축하여 운영하고 있는 '축산악취관제시스템'을 활용하여 각 농가에 설치된 악취저감시설과 악취측정 ICT 장비를 연계하여 객관적인 악취저감기술을 개발하여 적용
 - 적용 기술의 경우 안개분무 시스템, 바이오커튼과 탈취탑을 대상으로 악취측정 ICT 기계·장비를 연계하여 일정 수치 이상의 악취발생시 악취저감시설이 자동으로 운영할 수 있도록 설계하여 운영

2) 주요 개발 기술

- 현장점검 및 테스트 베드 농가 선정을 통해 검증된 악취저감 기술을 대상으로 효율적인 악취저감을 위해 자동화 기술을 제시 악취가 발생시 설치된 암모니아 센서로 악취의 주요 물질인 암모니아를 측정하고, 기록된 악취 수치가 일정수치에 도달할 경우 악취의 효율적인 저감을 위해 악취저감시설이 자동으로 운영할 수 있는 프로그램(네트워크 등) 및 장비를 개발하여 운영
- 개발된 축산악취 관제시스템의 구성도는 <그림 10>에 나타나 있는 것처럼, 악취센서(암모니아/NH₃), 온·습도 측정센서, 모니터링서버, 관리서버, 사용자 운영프로그램으로 구성



<그림 10> 축산악취 저감 시스템 구성도

- 사용센서 기술 : 가스센서의 경우 검지방식에 따라 구분되며, 상용화되어 시판되고 있는 반도체식, 고체전해질식, 전기화학식, 접촉연소식 및 비분산적외선식 등이 있으며, 이중 암모니아 가스의 경우 선택성이 뛰어난 전기화학식 센서를 선택하여 바이오커튼, 안개분무시스템이 설치된 양돈농장 1개소, 탈취탑을 운영하는 공동자원화시설 1개소를 대상으로 악취저감시설과 연계하여 운영하였으며, 센서의 경우 설치 전 칼리브레이션을 실시하여 센서 보정을 진행하고, 측정된 센서값 및 기기 이상유무의 확인을 위해 현장에서 온도/습도 및 암모니아 측정값을 4회 측정하여 비교 검증, 현장 측정방법은 검지관식 기체측정기(GV-100, Japan)와 디지털 측정기(T2A-7X9, Canada)를 활용 측정 후 검증
- 악취저감시설 및 악취측정 센서 연결 추진 : 악취저감시설이 설치된 농장을 대상으로 악취센서와 각 저감시설의 컨트롤 박스를 제어할 수 있도록 하드웨어 및 소프트웨어를 제작하여 연결하였고, 양돈농장(안개분무, 바이오커튼)의 경우 5월부터 11월까지 시범운영을 하였으며, 공동자원화시설(탈취탑)의 경우 '19년 11월부터 연계하여 일주일간 시범운영 추진



안개분무&바이오커튼 및 센서 연결 컨트롤러



탈취시설(황산활용) 및 센서 연결 컨트롤러

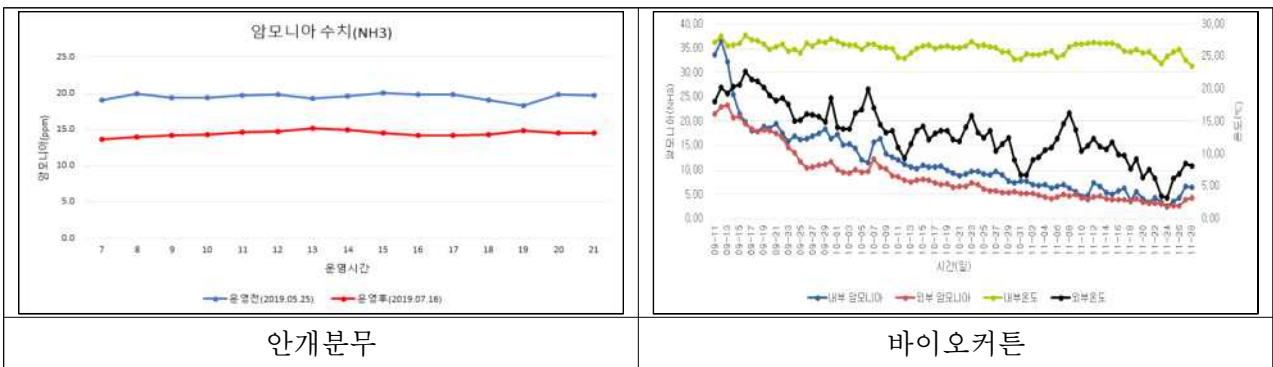
<그림 11> 악취저감시설과 악취측정 센서 연결 컨트롤러

- 모니터링 서버 : 모니터링 서버 프로그램은 센서의 측정결과를 증폭하여 이를 통신장치에 전달하기 위해 각 센서들의 보정 값을 기억하고 보정하기 위한 기능을 수행할 수 있는 전자회로 및 프로그램으로 구성하였으며, 각 센서에서 측정된 값들을 통신장치와 표시장치에 유선의 경우 serial 통신을 통해 데이터를 전송하도록 설계하였으며, 거리가 멀 경우 근거리 혹은 장거리(IoT) 무선통신을 통해 데이터를 전송할 수 있도록 설계
- 관리서버 : 관리서버는 모니터링관리 장치로부터 수집한 축사 내의 정보를 데이터베이스에 저장하도록 하였으며, 관리서버는 Linux(Ubuntu) 기반으로 동작하며 PC기반 사용자 운용 프로그램을 구동하기 위해 자바기반의 JEUS 8(Tmax Soft)를 사용한 모니터링관리 장치와 PC기반 사용자 운용 프로그램은 관리서버를 통하여 실시간 관련정보를 확인할 수 있도록 하였으며, 데이터베이스는 Tiberio를 사용하여 환경정보들을 저장하도록 구현
- PC기반 사용자 운영프로그램 : PC기반 사용자 운용프로그램은 관리서버의 데이터베이스에 축적된 환경정보 데이터를 기간별/시간별로 실시간 축사환경데이터를 모니터링하기에 적합하도록 웹 방식으로 구성하고, 관리서버와 데이터 교환은 HTTP(Hypertext Transfer Protocol) 기반의 SOAP(Simple Object Access Protocol)을 이용하여 개발

3) 주요 개발 결과

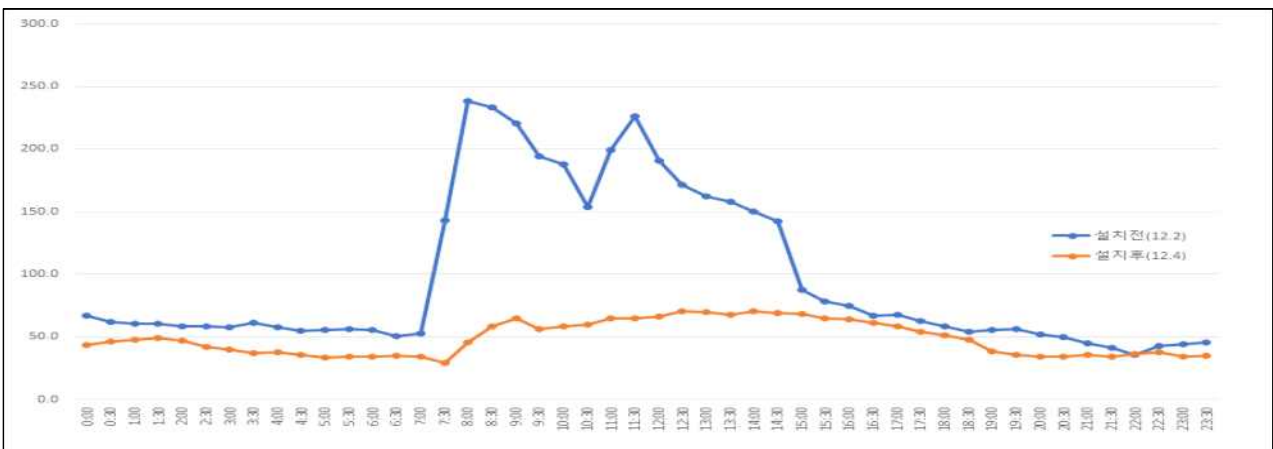
- 안개분무 및 바이오커튼의 경우 ICT 장비와 연계하여 운영시 암모니아 발생량이 감소하는 것은 <그림 12>에서와 같이 나타났으며, 안개분무 운영전 축사의 온도는 평균 33.1℃에서 운영 후 27.2℃로 감소하였으며, 암모니아 수치 역시 19.5ppm에서 14.5ppm으로 감소함
- 안개분무의 경우 축사내 생육환경에 대한 직접적인 영향을 미칠 수 있음에 따라 초기 연구에서는 ICT 장비와 연계와 타이머 기능을 이중으로 연계하여 운영, 향후 온습도 센서 등의 정보를(THI 지수 등) 통합으로 취합하여 축사악취 정도, 축사시설의 환경을 고려하여 악취를 저감할 수 있는 추가 연구 필요(비육돈사를 대상으로 평균 2분/30분(조절가능), 외부설치 평균 10분/시간당 운영하며 악취발생 20ppm 이상이면 저감시설 운영)
 - * 측정일시 : 안개분무 운영전 '19.5.25과 운영후 '19.7.16 측정
 - * THI(Temperature Humidity Index) 지수란 : 온도와 습도자료를 활용해 가축이 느끼는 더위를 지수로 나타낸 지표, 사람의 경우 '불쾌지수'로 나타날 수 있음

- 바이오커튼의 경우 축사 내부에서 발생한 악취를 축사 외부에서 저감시키는 장비임에 따라 바이오커튼의 경우 축사 내부, 외부에 각각 ICT 장비를 설치하고, 내부에서 발생한 악취를 기준으로 악취저감효과를 검증. 설치후 운영 결과 돈사외부의 암모니아 수치는 평균 4ppm 정도 감소하였으며, 안개분무 시스템과 동일하게 ICT 장비 연계와 함께 시간타이머를 설치하여 운영하여 활용 검증(5분/30분, 암모니아 수치 20ppm 발생 시 5분간 자동 운영)
- 측정시기 및 운영 시기는 9월부터 11월까지 운영함에 따라 향후 악취가 가장 많이 발생하는 여름철 시설 추가 운영·검증 필요(향후 간헐적 운영에 따른 운영비 절감효과 검토 필요)
- 특히 9월 중순 이후 암모니아 수치가 20ppm을 넘은 경우가 드물어 장비 운영에 따른 악취저감효과 검증 제한(타이머 기능을 제외한 후 ICT 장비만은 활용한 바이오커튼 장비 운영 결과 확인 필요)



<그림 12> 악취저감시설(안개분무, 바이오커튼)과 악취측정 센서 연결 운영 결과

- 탈취탑의 경우 공동자원화시설에 설치된 시설을 중심으로 악취측정 센서와 연계하여 운영
- 탈취탑내 운영되는 악취저감제가 황산(H₂SO₄)임에 따라 과도한 약품운영 시 탈취탑내 부식 및 기계내구성 등에 영향을 미칠 수 있어, 1, 2차로 구분하여 실험 추진
- 1차적으로 ICT 센서와 연계 없이 기존(3분/시간당) 운영 방식으로 암모니아 발생량을 측정하였고(12.2), 2차 측정시 동일한 조건으로 최대 측정범위가 50ppm초과 시 탈취탑 지속적으로 가동될 수 있도록 설정하여 추진(12.4일)
- 악취측정센서와 연계전 암모니아 발생농도는 평균 97.0ppm 이었으며, 악취측정센서와 탈취탑 연계시는 평균 48.6ppm으로 감소



<그림 13> 악취저감시설(탈취탑)과 악취측정 센서 연결 운영 결과

- 공동자원화시설에 설치된 탈취탑의 경우 악취를 저감하기 위해서는 악취저감 촉매인 황산을 지속적으로 투입해야 하나, 운영상의 이유로 시간당 3분 정도의 황산만을 투입함에 따라 효과가 감소되었고, 특히 시설이 운영되는 7시부터 16시까지 암모니아 수치가 지속적으로 증가하였으나, 황산 투입 등은 시간당 동일함에 따라 악취저감효과가 감소. 이에 반해 악취저감시설(탈취탑)과 악취측정센서를 연계하여 조절할 경우 시간당 황산을 투입하는 것이 아니라 30분당 악취를 측정하여 50ppm이상일 때만 황산을 집중 투입함에 따라 전체적인 악취가 저감하였고, 운영시간 또한 기존의 경우 24시간 운영시 약 100ℓ(시간당 4ℓ/3분)이 투입되었으나 ICT 연계시 10회만(50ppm 이상) 탈취탑이 운영되었으며, 황산의 경우 약 80ℓ(시간당 8ℓ/6분)으로 기존의 악취발생량을 절반으로 감소(기존 방법으로 시설 운영시 악취저감 효율성이 감소하여 연계운영시 황산분무 시간 두배 연장)
- 현재 용량별 탈취탑 운영시 적정량의 황산 투입량 등에 대한 정보가 없어 차후 좀 더 면밀한 검토 필요, 특히 공동자원화시설의 경우 시간대별 악취발생(암모니아) 농도가 변화함에 따라 효과적인 악취저감(암모니아)을 위해서는 황산 등의 투입량, 적정 운영 시간 등에 대한 검증이 필요하며, 이는 향후 효과적인 악취저감 뿐만 아니라 공동자원화시설의 운영비 감소에도 긍정적인 영향을 미칠것으로 사료

<표 53> ICT 장비 연계 운영시 악취저감시설 운영비용 비교

탈취탑 2개 기준		현재 (24시간 운영 기준)	연계 운영 (10시간 기준)
운영 비용	전기료	88,920원 (57kw×24h×65원/kw)	37,050원 (57kw×10h×65원/kw)
	황산(약품)	35,000원 (100ℓ×350원/ℓ)	28,000원 (80ℓ×350원/ℓ)
	탈취제	30,000원 (10ℓ×3,000원)	12,600원 (4.2ℓ×3,000원)
	물	7,500원 (1,500ℓ×5원)	3,125원 (625ℓ×5원)
	기타소모 (펌프교체, 청소비용)	13,143원/일 (펌프 1,600,000원/년) (청소비 3,000,000원/년) * 운영일 350일 기준	10,857원/일 (펌프 800,000원/년) (청소비 3,000,000원/년) * 운영일 350일 기준
소계		174,563 /일 61,097,050원/년(350일)	91,632원 32,071,200원/년(350일)
차익		82,931원/일 년(운영기준 350일 기준) 29,025,850원	

2-2. 축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가

가. 주요관리대상 측정악취물질 배출계수 자료수집(문헌조사 등)

1) 주요 관리대상 측정악취물질 문헌조사

- 돈사에서 발생하는 악취는 알데히드, 알코올, 아민, 암모니아, 에스테르, 인돌, 페르캡탄, 유기산, 페놀 및 황화합물(황화수소 등)을 포함하여 150가지가 넘는 화합물에 의해 발생함(Bottcher, 2001). 이 중 악취에 더 많은 기여를 하는 것은 p-크레졸, 인돌 등이 있으며, 문헌에 보고된 돈사에서 발생 농도는 각각 0.2~25.7, 0.05~0.7 ppbv임(Van der Heyden et al., 2015). 상기 물질들은 복합악취 기여도가 크지만, 측정할 수 있는 적절한 센서가 없을 뿐만 아니라 1 ppm미만의 매우 낮은 농도를 감지하여 화학적 농도(ex. ppmv, ppbv 등)로 나타내기 어려움.
- 미국 Iowa State University에서는 후각으로 인지하는 복합악취와 암모니아, 황화수소의 상관관계 분석을 통해 현장에서 실시간으로 기기분석이 가능한 암모니아와 황화수소는 복합악취와 상관관계가 매우 높다는 것을 보고(American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012).
- 따라서 본 연구에서는 축사에서 발생하는 주요관리대상 악취물질로서 실시간 현장 평가가 용이한 암모니아와 황화수소를 선정.

2) 축사유형, 분뇨수거방식, 분뇨처리방법에 따른 주요 관리대상 축산악취배출계수 문헌조사

- 미국의 경우 각 주마다 자체적으로 대기 중 악취 및 악취유발물질 항목과 그에 대한 제한 농도 수준을 제시하고 있으며, 미네소타 주의 경우 황화수소와 같은 개별 성분 농도 규제를 실시함.
- 유럽 및 북미의 축산 선진국들은 10여 년 전부터 효과적인 축산 악취 제어 대책을 강구하기 위해 주로 돈사에서 발생하는 다양한 대기오염물질의 발생 원단위를 설정하는 기초 조사를 이미 완료했거나 수행 중임.
- 국외 선행 연구를 분석한 결과 미국에서 수행된 실험의 슬러리 돈사의 암모니아 배출량은 평균적으로 114~143 mg/h/pig 발생하였고, 황화수소 발생량은 0.45~72.05 mg/h/pig로 다양한 범위의 발생량을 보임. 또한 유럽의 연구결과에서 슬러리 돈사의 암모니아 배출량은 29.58~660.00 mg/h/pig의 범위를 보임. 기존 연구자료에 의하면 국가별로 최대 약 6배의 배출량 차이를 보이는 것뿐만 아니라 유럽의 경우 수행 시점 및 지역에 따라 20배가 넘는 차이를 보임. 돈사의 악취물질 배출량이 국가별로 큰 차이를 보임에 따라 우리나라에서도 국내 실정에 맞는 배출계수 산정이 필요함 <표 54>.
- 계절적인 요인에 의해서도 악취발생정도가 다르기 때문에 배출계수 산정에 계절 특성을 반영할 필요가 있음 <표 55>.

<표 54> 돈사에서 발생하는 공기오염물질의 발생원단위에 대한 국외 연구결과

조사 물질	국가	돈사 유형	두당발생량(g/d/pig) ^a		면적당 발생량(g/d/m ²) ^b		참고문헌
			Mean	Range	Mean	Range	
암모니아	미국	Slats	2.74	-	3.68	-	Heber et al., 2001
			3.43	-	4.61	-	Gay et al., 2003
	유럽	Slats	15.84	-	21.29	-	Demmers et al., 1999
			6.92	-	9.31	-	Erden et al., 1981
			6.68	-	8.98	-	Oosthoek et al., 1991
			0.71	-	0.95	-	Aarnink et al., 1995
			2.46	-	3.31	-	Gastel et al., 1995
			5.00	-	6.72	-	Aarnink et al., 1996
			5.45	-	7.33	-	Aarnink et al., 1997
			9.00	-	12.1	-	Hinz and Linke, 1998
7.18	6.12-7.56	9.65	8.23-10.16	Koerkamp et al., 1998			
황화수소	미국	Slats	-	0.01-0.53	-	0.01-0.71	Heber et al., 1997
			0.95	-	1.27	-	Ni et al., 1999
			-	0.12-1.73	-	0.17-2.32	Ni et al., 2000
			-	0.30-1.15	-	0.40-1.55	Zhu et al., 2000

^a Based on growing/finishing pig(75kg)

^b Assuming 0.744m² of floor area per pig

<표 55> 계절별 돈사에서 발생하는 공기오염물질의 발생 원단위에 대한 국외 연구 결과

조사 물질	국가	계절	돈사유형	Concentrations (ppm)	Ventilation Rate (m ³ /s)
암모니아	캐나다	가을 (16.1 ~ -0.6°C)	Partially-slatted floors	3 ~ 11	1.4 ~ 1.8
			Fully-slatted floors	6 ~ 26	1.9 ~ 13.1
		겨울 (-0.6 ~ -15.2°C)	Partially-slatted floors	13 ~ 33	0.7 ~ 3.5
			Fully-slatted floors	16 ~ 36	1.3 ~ 2.3
		봄 (-6.5 ~ 9.8°C)	Partially-slatted floors	7 ~ 23	1.1 ~ 4.0
			Fully-slatted floors	12 ~ 23	1.0 ~ 5.0
		여름 (16.1 ~ 23.7°C)	Partially-slatted floors	5 ~ 14	5.7 ~ 14.9
			Fully-slatted floors	7 ~ 20	5.4 ~ 14.9
황화수소	캐나다	가을 (16.1 ~ -0.6°C)	Partially-slatted floors	0.059 ~ 0.083	1.4 ~ 16.0
			Fully-slatted floors	0.093 ~ 0.305	1.9 ~ 13.1
		겨울 (-0.6 ~ -15.2°C)	Partially-slatted floors	0.018 ~ 0.050	0.7 ~ 3.5
			Fully-slatted floors	0.017 ~ 0.050	1.3 ~ 2.3
		봄 (-6.5 ~ 9.8°C)	Partially-slatted floors	0.017 ~ 0.365	1.1 ~ 4.0
			Fully-slatted floors	0.021 ~ 0.390	1.0 ~ 5.0
		여름 (16.1 ~ 23.7°C)	Partially-slatted floors	0.056 ~ 0.114	5.7 ~ 14.9
			Fully-slatted floors	0.034 ~ 0.139	5.4 ~ 14.9

연구기간: August 3, 2004 ~ July 5, 2005, 실험군 사육단계: Growing-finishing pig

참고문헌: Gang Sun, Huiqing Guo & Jonathan Peterson, 2010

나. 악취 정밀평가 시스템 구축

1) 자동 악취 측정 시스템 구축

- 본 연구에서는 실시간 악취물질 배출량 분석 및 데이터 저장이 가능한 무선 측정 시스템을 설계 및 제작함. 본 시스템의 기계적인 부분은 자동 악취 측정장치, 환기량 측정장치, 온습도 측정장치로 구성되며, 프로그램 부분은 로컬 프로그램과 클라이언트 프로그램으로 구분.


가) 악취가스센서 종류 조사

- 본 연구에서 조사한 악취가스센서는 스위스 Membrapor사의 NH₃/CR-50, 영국 Alpha사의 NH₃-B1, Euro사의 NH₃ 3E 100 등으로<표 56, 57>, 측정대상가스의 산화 환원반응 시에 발생하는 전자의 양을 감지하여 해당 가스의 농도를 측정하는 방식임(전기화학식).
- 측정대상 가스는 암모니아와 황화수소로 측정범위는 각각 0~100ppm, 0~50ppm이며, 분해능은 0.3~2ppm, 반응시간은 최대 60초로 구성됨.

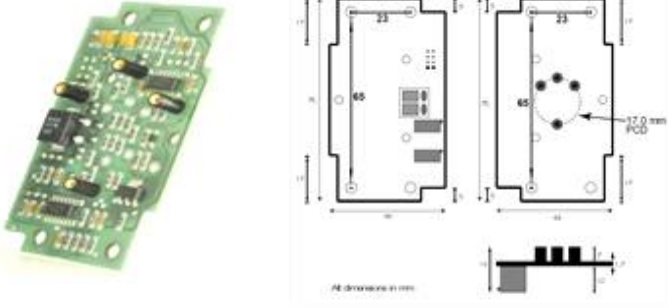
나) 악취가스 센서/트랜스미터 종류 및 특성

- Membrapor사

<표 56> Membrapor 사의 NH₃/CR-50, H₂S/C-50 (1)

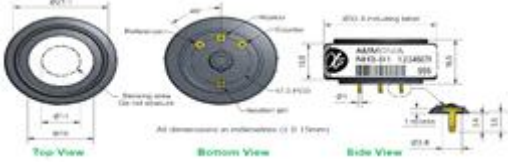
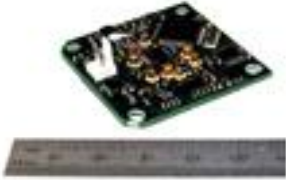
Manufacturer	Membrapor	
Model	NH ₃ /CR-50	H ₂ S/C-50
Image		
Nominal Range	0~50 ppm	0~50 ppm
Maximum Overload	100 ppm	500 ppm
Expected Operation Life	2 years in air	2 years in air
Output Signal	155±30 nA/ppm	1,700±300 nA/ppm
Resolution	0.5 ppm	0.05 ppm
Temperature Range	-10°C to 40°C	-40°C to 50°C
Pressure Range	Atmospheric	Atmospheric ± 10%
T90 Response Time	< 50 sec	< 35 sec
Relative Humidity Range	15% to 90% R.H. non-condensing	15% to 90% R.H. non-condensing
Baseline	0~±2.5 ppm	0~0.1 ppm
Maximum Zero Shift (+20°C to +40°C)	-5 ppm	0.1 ppm
Typical Long Term Output Drift	<5% per 6 month	-

<표 57> Membrapor 사의 NH₃/CR-50, H₂S/C-50 (2)

Recommended Load Resistor	10 Ohm	10 Ohm
Bias Voltage	Not allowed	Not recommended
Repeatability	< 0.3% of signal	< 2% of signal
Output Linearity	< 5% full scale	Linear
Humidity Effect	< 2.5 ppm	-
4 to 20 mA Transmitter Board for Electrochemical Gas Sensor		
Transmitter	Image	
	Input voltage required	+12 to +36 Volts DC
	Output at zero gas concentration	4 mA(40 mV)
	Output at full-scale	20 mA(200 mV)
	Sockets Plating	Gold
	Compliance	RoHS compliant

○ Alpha사

<표 58> Alpha사의 NH₃-B1

Manufacturer	Alpha (NH ₃ -B1)																																					
Image																																						
Sensor	Operating range	0~100 ppm (over gas limit: 200 ppm)																																				
	Resolution	< 0.3 ppm																																				
	Response time	< 60 sec																																				
	Temperature	-30~60 °C																																				
Transmitter	Connections	10~30 VDC and 4~20 mA																																				
	Ambient temp./humi.	-10 °C ~ +50 °C, 15~95% RH																																				
	Output	4~20 mA																																				
	cross-sensitivity data	<table border="0" data-bbox="742 1440 1406 1664"> <tr> <td>H₂S sensitivity</td> <td>% measured gas @ 20ppm</td> <td>H₂S</td> <td>< -200</td> </tr> <tr> <td>NO₂ sensitivity</td> <td>% measured gas @ 20ppm</td> <td>NO₂</td> <td>< -200</td> </tr> <tr> <td>Cl₂ sensitivity</td> <td>% measured gas @ 10ppm</td> <td>Cl₂</td> <td>< -400</td> </tr> <tr> <td>NO sensitivity</td> <td>% measured gas @ 50ppm</td> <td>NO</td> <td>< -300</td> </tr> <tr> <td>SO₂ sensitivity</td> <td>% measured gas @ 20ppm</td> <td>SO₂</td> <td>< -300</td> </tr> <tr> <td>CO sensitivity</td> <td>% measured gas @ 400ppm</td> <td>CO</td> <td>< 20</td> </tr> <tr> <td>H₂ sensitivity</td> <td>% measured gas @ 400ppm</td> <td>H₂</td> <td>< 15</td> </tr> <tr> <td>C₂H₄ sensitivity</td> <td>% measured gas @ 400ppm</td> <td>C₂H₄</td> <td>nd</td> </tr> <tr> <td>CO₂ sensitivity</td> <td>% measured gas @ 5%</td> <td>CO₂</td> <td>nd</td> </tr> </table>		H ₂ S sensitivity	% measured gas @ 20ppm	H ₂ S	< -200	NO ₂ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NO ₂	< -200	Cl ₂ sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl ₂	< -400	NO sensitivity	% measured gas @ 50ppm	NO	< -300	SO ₂ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	SO ₂	< -300	CO sensitivity	% measured gas @ 400ppm	CO	< 20	H ₂ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	H ₂	< 15	C ₂ H ₄ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	C ₂ H ₄	nd	CO ₂ sensitivity	% measured gas @ 5%	CO ₂
H ₂ S sensitivity	% measured gas @ 20ppm	H ₂ S	< -200																																			
NO ₂ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NO ₂	< -200																																			
Cl ₂ sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl ₂	< -400																																			
NO sensitivity	% measured gas @ 50ppm	NO	< -300																																			
SO ₂ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	SO ₂	< -300																																			
CO sensitivity	% measured gas @ 400ppm	CO	< 20																																			
H ₂ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	H ₂	< 15																																			
C ₂ H ₄ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	C ₂ H ₄	nd																																			
CO ₂ sensitivity	% measured gas @ 5%	CO ₂	nd																																			
Image																																						

○ Senko사

<표 59> Senko사의 SS21N8

Manufacturer	Senko (SS21N8)																								
Image																									
Sensor	Operating range	0~100 ppm (maximum 200 ppm)																							
	Resolution	< 1 ppm																							
	Response time	< 30 sec																							
	Temperature	-20~50°C																							
	Sensor list	100, 300, 1000 ppm																							
Transmitter	Connections	10~30 VDC and 4~20 mA																							
	Ambient temp./humi.	-10°C ~ +50°C, 15~90% RH																							
	Output	4~20 mA																							
	cross-sensitivity data	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Gas</th> <th>Concentration (ppm)</th> <th>Reading (ppm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ammonia</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen Sulfide</td> <td>100</td> <td><300</td> </tr> <tr> <td>Carbon Dioxide</td> <td>5,000</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Carbon Monoxide</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen</td> <td>500</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen Dioxide</td> <td>50</td> <td>-1.5 to 0</td> </tr> <tr> <td>Nitric Oxide</td> <td>200</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Gas	Concentration (ppm)	Reading (ppm)	Ammonia	100	100	Hydrogen Sulfide	100	<300	Carbon Dioxide	5,000	0	Carbon Monoxide	100	0	Hydrogen	500	0	Nitrogen Dioxide	50	-1.5 to 0	Nitric Oxide	200
Gas	Concentration (ppm)	Reading (ppm)																							
Ammonia	100	100																							
Hydrogen Sulfide	100	<300																							
Carbon Dioxide	5,000	0																							
Carbon Monoxide	100	0																							
Hydrogen	500	0																							
Nitrogen Dioxide	50	-1.5 to 0																							
Nitric Oxide	200	0																							

○ EURO-GAS 사

<표 60> EURO-GAS 사의 Sensoric series (1)

Manufacturer	EURO-GAS							
Image								
Sensor list	Series	Gas Type	Product Name	Life	Range	Details	Fixed or Portable	Typical applications
	Sensoric	NH ₃	NH3 3E 100	>18 months	0-100ppm	3 Electrode sensor with organic electrolyte, available in Mini, Classic, 4-Series and 7-Series formats.	Fixed/Portable	Industrial safety, TLV-monitoring, leakage detection, fixed point applications in cold storages & refrigeration plants
	Sensoric	NH ₃	NH3 3E 100 SE	>2 years	0-100ppm	3 Electrode sensor; available in Mini, Classic, 4-Series and 7-Series formats.	Fixed/Portable	Industrial safety, TLV-monitoring, leakage detection, portable & fixed point applications, food & refrigeration industry, general industry, semiconductor industry
	Sensoric	NH ₃	NH3 3E 500 SE	>2 years	0-500ppm	3 Electrode sensor; available in Mini, Classic, 4-Series and 7-Series formats.	Fixed/Portable	Industrial safety, portable & fixed point applications, monitoring of IDLH levels, general industry, chemical industry, food & refrigeration industry
	Sensoric	NH ₃	NH3 3E 1000	>18 months	0-1000ppm	3 Electrode sensor with organic electrolyte, available in Mini, Classic, 4-Series and 7-Series formats.	Fixed/Portable	Industrial safety, TLV-monitoring, leakage detection, fixed point applications in cold storages & refrigeration plants
	Sensoric	NH ₃	NH3 3E 1000 SE	>2 years	0-1000ppm	3 Electrode sensor; available in Mini, Classic, 4-Series and 7-Series formats.	Fixed/Portable	Industrial safety, portable & fixed point applications, food industry, semiconductor industry, chemical industry, general industry
	Sensoric	NH ₃	NH3 3E 5000 SE	>2 years	0-5000ppm	3 Electrode sensor; available in Mini, Classic, 4-Series and 7-Series formats.	Fixed/Portable	Industrial safety, portable & fixed point applications, monitoring of IDLH levels, general industry, chemical industry, food & refrigeration industry

<표 61> EURO-GAS 사의 Sensoric series (2)

Transmitter	Connections	24 VDC ±5% and 4~20 mA																							
	Ambient temp./humi.	-10°C ~ +50°C, 15~95% RH																							
	Output	4~20 mA																							
	Sensor cross-sensitivity data	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Interfering Gas</th> <th>Concentration</th> <th>Reading</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO</td> <td>300 ppm</td> <td>0 ppm</td> </tr> <tr> <td>SO₂</td> <td>20 ppm</td> <td>-7 ppm</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>20 ppm</td> <td>-1 ppm</td> </tr> <tr> <td>H₂</td> <td>300 ppm</td> <td>0 ppm</td> </tr> <tr> <td>H₂S</td> <td>20 ppm</td> <td>7 ppm</td> </tr> <tr> <td>Cl₂</td> <td>20 ppm</td> <td>-55 ppm</td> </tr> <tr> <td>NO₂</td> <td>20 ppm</td> <td>-20 ppm</td> </tr> </tbody> </table>	Interfering Gas	Concentration	Reading	CO	300 ppm	0 ppm	SO ₂	20 ppm	-7 ppm	NO	20 ppm	-1 ppm	H ₂	300 ppm	0 ppm	H ₂ S	20 ppm	7 ppm	Cl ₂	20 ppm	-55 ppm	NO ₂	20 ppm
Interfering Gas	Concentration	Reading																							
CO	300 ppm	0 ppm																							
SO ₂	20 ppm	-7 ppm																							
NO	20 ppm	-1 ppm																							
H ₂	300 ppm	0 ppm																							
H ₂ S	20 ppm	7 ppm																							
Cl ₂	20 ppm	-55 ppm																							
NO ₂	20 ppm	-20 ppm																							
Connection																									
Sensor	Resolution	2ppm (100ppm 기준)																							
	Response time	60 sec																							


- 실시간 악취성분측정 및 데이터 로깅이 가능한 무선 측정 장치 설계 및 제작
 - 본 연구에서 제작한 자동악취 측정장치는 실시간으로 센서의 전압변화를 측정하고 그 결과를 저장하도록 구성하였으며, 악취가스 주입부, 센서반응부, 신호처리 및 저장부 등으로 나누어짐. 또한, 환기량/온습도 측정장치와 연결되어 악취물질 배출량(g/min)을 산출하고, LTE-M 모듈을 이용하여 데이터를 실시간으로 전송하도록 함.
 - 악취가스센서는 측정기에 내장되어 있는 펌프와 솔레노이드 밸브에 의해 측정지점별 배출가스가 2L/min의 유속으로 흡입되어 센서에 반응하도록 구성함.
 - 자동악취 측정장치는 총 4기 제작 완료(충남대 2기, 참여기업 2기)하였으며, <표 62>에 요약.

<표 62> 1차 악취측정기 특성

기기명	충남대		참여기업
	L-1	L-2	P-1, 2
측정지점(개)	3	4	5
측정항목	암모니아, 황화수소 농도 (환기량 측정장치와 연결 가능)	암모니아, 황화수소 농도, 온습도 (환기량 측정장치와 연결 가능)	암모니아, 황화수소 농도 (환기량, 온습도 측정장치와 연결 가능)
무선화 방식	LTE-M		
사진			

- 추가 악취측정기(2차) 2기에 대한 정보는 <표 63>과 같음.

<표 63> 2차 악취측정기 제작 현황

기기명	L-3, 4(충남대)		
측정지점 (개)	4 (조정 가능)		
측정항목	암모니아, 황화수소 농도 (환기량, 온습도 측정장치 및 기타 센서와 연결 가능)		
무선화 방식	LTE-M		
사진			

- 1, 2차 악취측정기에 설치된 암모니아, 황화수소 측정용 센서에 대한 정보는 <표 56, 57, 64>와 같음.

<표 64> 악취가스센서 특성

악취물질 종류	NH ₃ (암모니아)	H ₂ S(황화수소)
측정방식	전기화학식	
측정범위(Resolution)	0~50 ppm(0.05 ppm)	

다) 환기량 측정장치

- 환기팬에서 배출되는 가스 발생량을 측정하기 위해 2가지 유형의 유량측정 장치(포토센서, 220V to 5V 컨버터 유형)를 제작/평가하였으며, 환기량 측정장치는 RS-485통신 방법을 이용하여 데이터를 실시간으로 전송함<그림 14, 15>.
- 포토센서의 경우 환기팬의 RPM을 측정하여 환기량으로 환산하는 방식으로, 습도가 높고 분진이 많이 발생하는 돈방 내 환경에서는 센서 부위에 먼지가 쌓여 측정 오류가 자주 발생함<그림 14>.
- 컨버터의 경우 환기팬 가동 시 환기팬 컨트롤러에서 발생하는 0-220V의 전압신호를 0-5V로 바꾸어 측정 및 환기량으로 환산하는 방식으로 본 연구에서는 컨버터 유형의 장치 1대가 3기의 배기팬 환기량을 측정할 수 있도록 제작함<그림 15>.
- 두 가지 유형의 환기량 측정장치를 평가한 결과, 포토센서는 돈사 환경에 적합하지 않다고 판단된 반면, 컨버터 유형의 환기량 측정장치는 장시간 안정적인 측정이 가능하였음. 따라서, 악취물질 배출량 평가를 위해 컨버터 유형의 환기량 측정장치를 최종 선정하여 사용함.



<그림 14> 포토센서를 이용한 환기량 측정 장치





<그림 15> 컨버터를 이용한 환기량 측정 장치

라) 온습도 측정장치

- 온습도센서(MHTP-485 S)는 악취측정기와 연계되어 각 측정지점별 돈방의 온습도 결과를 RS-485 통신을 이용하여 실시간 전송하도록 구축함<표 65>.

<표 65> 온습도 센서 특성

모델명	MHTP-485 S	
측정 항목	온도	상대습도
측정 범위	-20~80 °C	0~100%
Resolution	±0.4 °C from -10~70 °C	±3.0% from 0 to 80%, ±4.5% from 80 to 100%
사진		

마) 암모니아/황화수소 농도 및 배출량, 환기량 모니터링 시스템

- 본 연구에서는 악취측정센서와 LTE-M 무선통신장치를 연계하여 원격으로 현장의 악취농도를 실시간으로 모니터링하도록 구축함. 모니터링 시스템은 크게 로컬과 클라이언트로 구분되며 <그림 16, 17>에 나타내었음.
- 로컬 프로그램은 자동악취 측정장치에 설치된 프로그램으로, 현황판, 일반설정, 밸브설정, 환기팬 설정, 센서보정 등으로 구성됨<그림 16>.
 - 현황판: 실시간 악취 농도(ppm) 및 발생량(g/min) 등 확인
 - 일반 설정: 악취측정지점의 수와 운영시간 설정
 - 밸브설정: 악취측정지점에 대한 기본정보 입력(사육두수, 돈방면적 등)
 - 환기팬 설정/센서보정: 환기량 측정장치와 악취농도센서의 검량값 입력
- 클라이언트 프로그램은 원격으로 현장의 악취측정 현황을 확인할 수 있는 프로그램임. 클라이언트 프로그램에서도 각 밸브의 운영시간과 환기량 측정장치, 센서의 검량값 조정이 가능할 뿐만 아니라 악취 측정기록을 그래프형태로 나타낼 수 있으며, 측정 내용을 다운로드 받을 수 있음<그림 17>.



<그림 16> 로컬 프로그램



<그림 17> 클라이언트 프로그램

2) 무선 악취측정장치 현장 평가

- 본 연구에서 선정한 A 양돈농가는 무창돈사로, 돈방(209 m²) 당 돼지 240두를 사육.
- 각 돈방 당 3개의 환기팬(Φ 550 mm: 126 CMM 1개, Φ 1,000 mm: 258 CMM 2개)이 돈방 내 환기 및 온도 조절을 목적으로 가동 중이었으며, 악취저감 방법으로서 액비순환시스템을 부분적으로 적용하고 있었음<그림 18, 19>.
- 본 연구는 A 양돈농가의 액비순환시스템 적용 여부에 따른 각 돈방의 악취가스 발생특성 및 슬러리 성상을 비교하여 액비순환시스템의 악취저감 효과를 평가하기 위한 목적으로 수행되었음. 또한, 배출가스(암모니아, 황화수소) 농도에 환기량을 각각 적용하여 암모니아, 황화수소 배출량을 산정하고, 돼지사육두수를 적용하여 두 당 일일 암모니아/황화수소 배출계수를 산정하였음.

<표 66> 돈사특성

특성	비고
돈사유형	무창돈사
사육단계	육성-비육돈
사육밀도	약 0.76 m ² /두(비육돈 기준)
악취측정대상 돈방	209 m ² (19 × 11 m) 면적의 돈방 4개 (돈방 당 240두 사육)
액비순환시스템 적용 여부	미적용: 1~3번 돈방
	적용: 4~7번 돈방



돈사 외관



돈방 내부



천장 입기구



순환액비 유입구

<그림 18> A 양돈농가 현장 사진



환기구



액비화 시설

<그림 19> A 양돈농가 현장 사진

가) 연구수행 방법

- 기기분석을 활용하여 On-site 악취성분(암모니아, 황화수소, 환기량 등)을 측정함.
- 측정 지점은 액비순환 미적용 돈방 2개와 액비순환 적용 돈방 2개를 선정하여 9월부터 현재까지 평가 중에 있음<그림 20>.
- 양돈장 배출가스의 시료 채취 지점은 <그림 21>과 같음.
- 현장조사와 양돈장 작업자의 협조를 얻어 가스발생과 직접적으로 관련이 있는 사육두수, 분뇨 저장기간, 돼지체중 등의 기초자료들을 수집함.



<그림 20> 돈사 모식도 및 악취 측정 대상 돈방



<그림 21> 악취가스 측정 지점

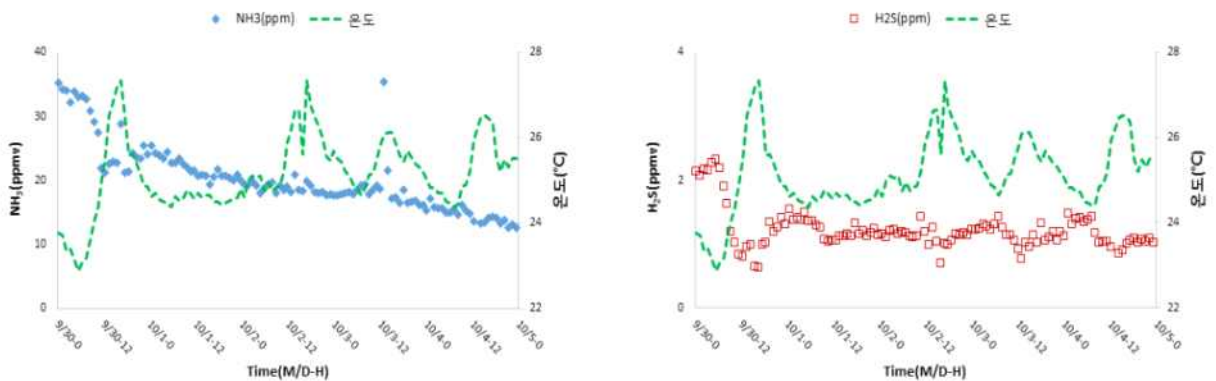
- 악취가스 시료 측정은 각 돈방의 배기팬에서 측정하였으며, 각 돈방의 특성은 <표 67>에 요약하였음.
- 악취가스 발생 특성 평가는 1)사육단계별(약 60kg 육성돈, 약 30kg 육성돈), 2)액비순환시스템 적용/미적용, 3)출하가 완료된 빈 액비순환 돈방을 이용하여 순수 슬러리 피트 내에서 기인하는 악취발생정도를 평가하였음.

<표 67> 악취가스 측정지점 및 각 돈방의 특성

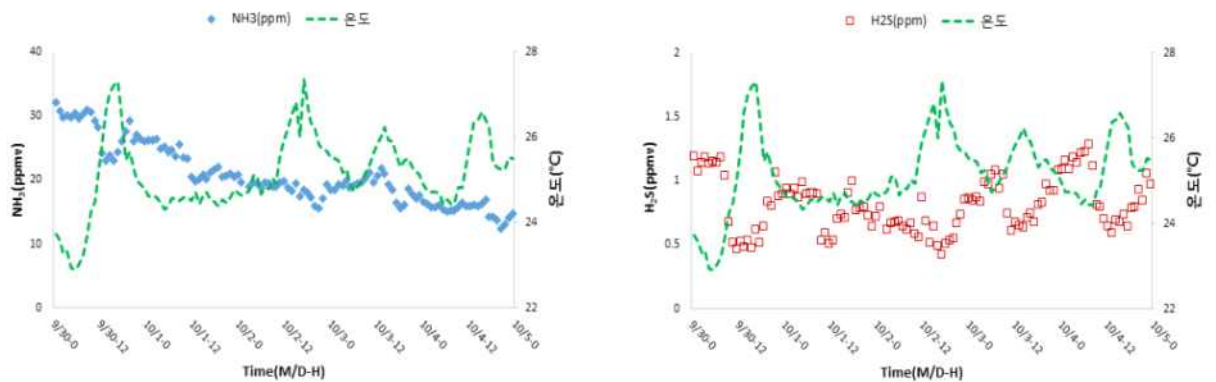
밸브 번호	시료 측정 지점	비고
Gate 1	1번 돈방	약 60kg 육성돈 240두, 액비순환 X
Gate 2	3번 돈방	약 30kg 육성돈 240두, 액비순환 X
Gate 3	4번 돈방	빈 돈방, 액비순환 O
Gate 4	7번 돈방	약 60kg 육성돈 240두, 액비순환 O

나) 연구 결과

- 악취발생 평가(암모니아, 황화수소)
 - 육성돈방(60kg, 액비순환 X)의 암모니아, 황화수소 배출 농도

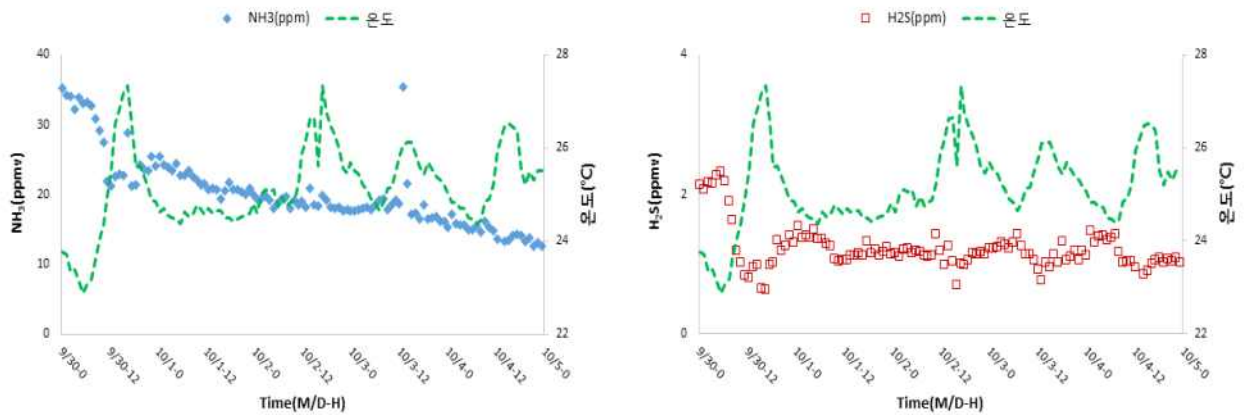


<그림 22> 육성돈(60kg)방 온도와 암모니아, 황화수소 농도 변화

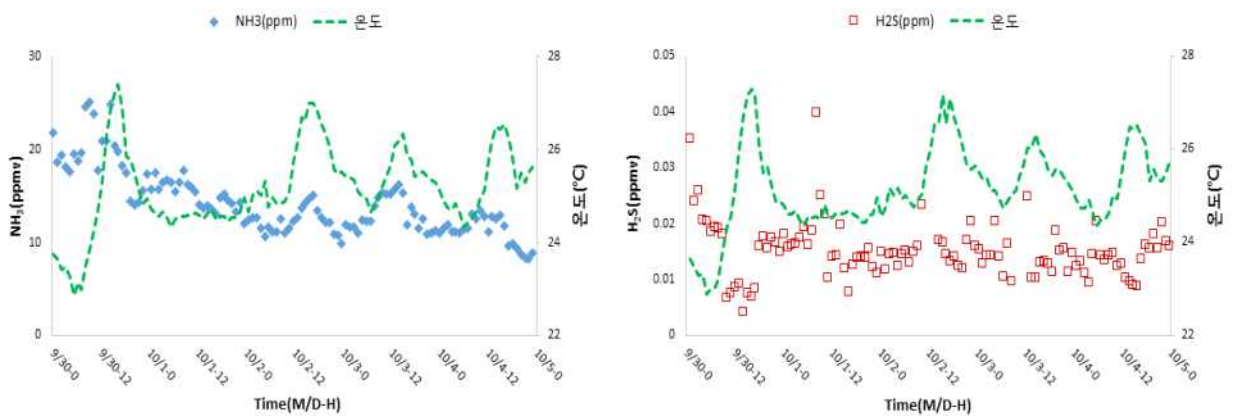


<그림 23> 육성돈(30kg)방 온도와 암모니아, 황화수소 농도 변화

- 육성돈(60kg)방 암모니아 평균 농도: 20.26 ± 1.92 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 육성돈(60kg)방 황화수소 평균 농도: 1.22 ± 0.05 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 육성돈(30kg)방 암모니아 평균 농도: 20.70 ± 1.92 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 육성돈(30kg)방 황화수소 평균 농도: 0.81 ± 0.04 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 사육단계에 따른 암모니아 농도는 큰 차이를 보이지 않았으나, 황화수소의 경우 60kg 육성돈의 발생 농도가 30kg 육성돈보다 약 1.5배 높음.
- 두 육성돈(30, 60kg)방에서 공통적으로, 온도가 높아지는 주간에는 악취 가스의 농도가 낮아지고, 온도가 낮아지는 야간에 높아지는 경향을 보임. 이는 주간에는 온도가 높아짐에 따라 돈방 내 온도조절을 위해 환기팬을 최대로 가동하였고, 동시에 입기량도 많아져 배출되는 악취가스가 희석된 것으로 판단됨.
- 액비순환 여부에 따른 육성돈(60kg)의 암모니아, 황화수소 배출 농도



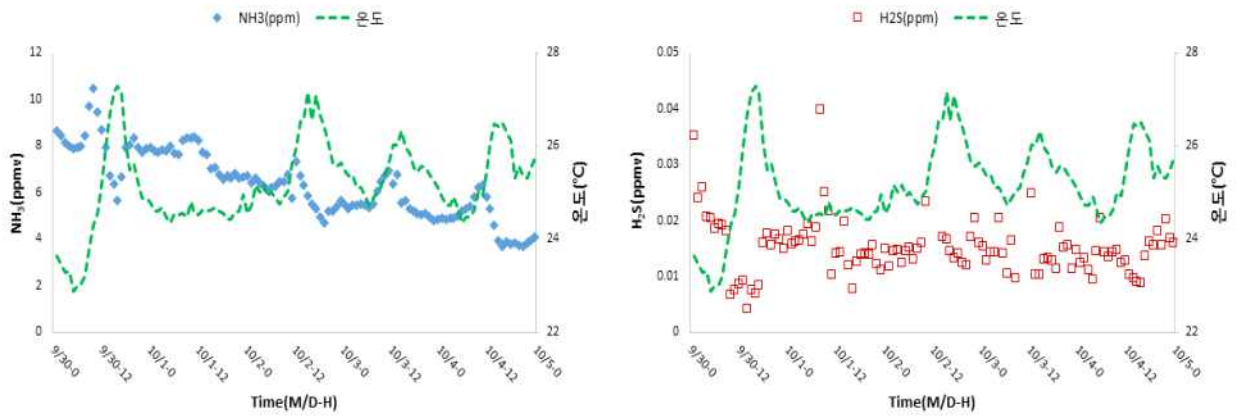
<그림 24> 액비순환 미적용 돈방(60kg 육성돈) 온도와 암모니아, 황화수소 농도 변화



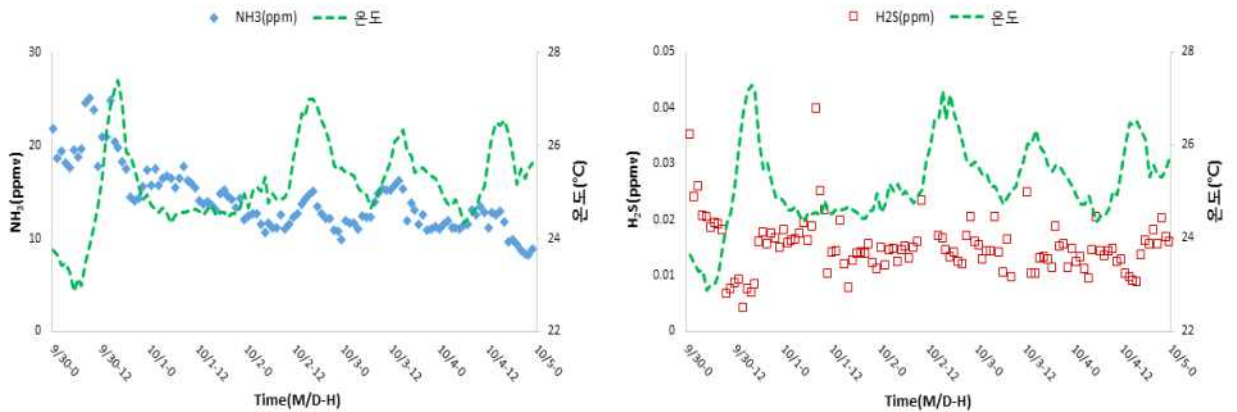
<그림 25> 액비순환 적용 돈방(60kg 육성돈) 온도와 암모니아, 황화수소 농도 변화

- 액비순환 미적용 돈방 암모니아 평균 농도: 20.26 ± 1.92 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환 미적용 돈방 황화수소 평균 농도: 1.22 ± 0.05 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환 적용 돈방 암모니아 평균 농도: 14.13 ± 1.29 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환 적용 돈방 황화수소 평균 농도: 0.19 ± 0.00 ppmv (Mean \pm S.E.)

○ 돼지 유무에 따른 액비순환 돈방의 암모니아, 황화수소 배출 농도



<그림 26> 액비순환 돈방(돼지 X)의 온도와 암모니아, 황화수소 농도 변화

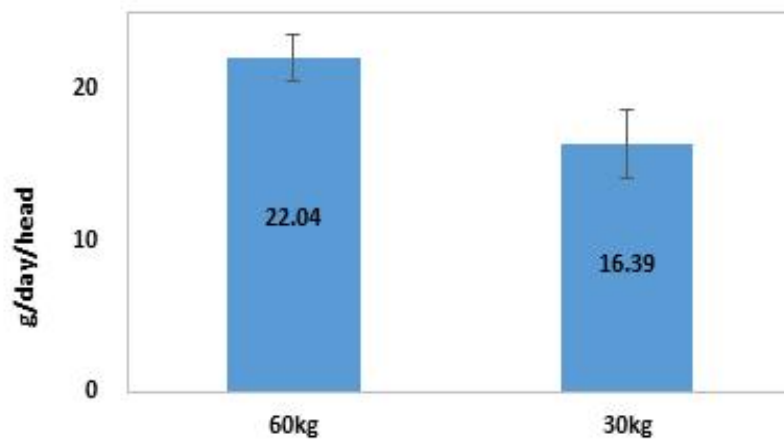


<그림 27> 액비순환 돈방(돼지 O, 60kg) 온도와 암모니아, 황화수소 농도변화

- 액비순환 자체 발생 암모니아 평균 농도: 6.38 ± 0.55 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환 자체 발생 황화수소 평균 농도: 0.02 ± 0.00 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환 적용 육성돈(60kg)방 암모니아 평균 농도: 14.13 ± 1.29 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환 적용 육성돈(60kg)방 황화수소 평균 농도: 0.19 ± 0.00 ppmv (Mean \pm S.E.)
- 액비순환을 적용하는 육성돈방에서 발생하는 암모니아와 황화수소 농도의 각각 45.2%, 10.5%는 액비순환 시스템 자체에서 기인하는 것으로 판단됨.

3) 악취물질배출계수 평가(암모니아, 황화수소)

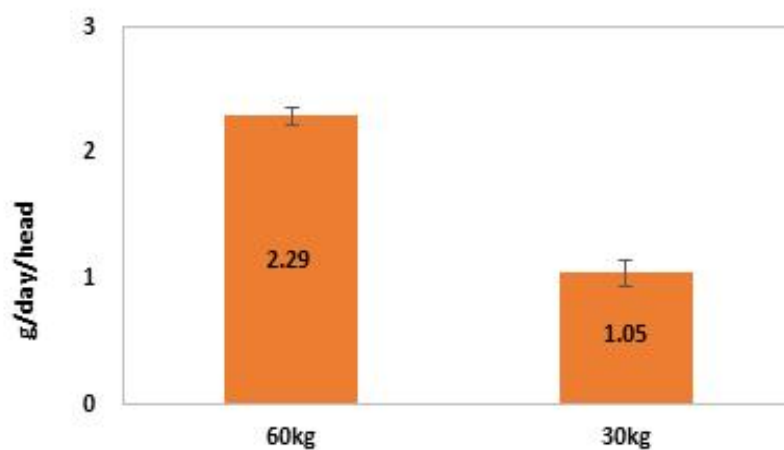
○ 사육단계별(60kg, 30kg 육성돈) 암모니아 배출량<그림 28>



<그림 28> 사육단계별 두당 일일 암모니아 배출량(g/day/head)

- 약 60kg 육성돈: 22.04±1.52 g/day/head (Mean±S.E., n=5)
- 약 30kg 육성돈: 16.39±2.31 g/day/head (Mean±S.E., n=5)
- 육성돈의 두당 일일 암모니아 배출량은 문헌에 보고된 0.71~15.84 g/day/head (Aarnink et al., 1995; Demmers et al., 1999)에 비해 높게 산정됨.
- 60kg 체중 육성돈의 일일 암모니아 배출량은 30kg 육성돈에 비해 약 1.3배 높음.

○ 사육단계별(60kg, 30kg 육성돈) 황화수소 배출량<그림 29>

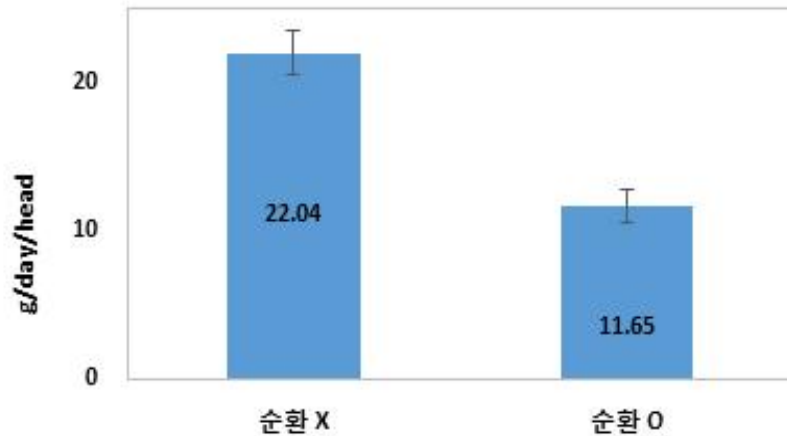


<그림 29> 사육단계별 두당 일일 황화수소 배출량(g/day/head)

- 약 60kg 육성돈: 2.29±0.07 g/day/head (Mean±S.E., n=5)

- 약 30kg 육성돈: 1.05 ± 0.11 g/day/head (Mean±S.E., n=5)
- 30kg 육성돈의 황화수소 배출량은 국외 문헌에 보고된 범위인 0.01~1.73 g/day/head (Heber et al., 1997; Ni et al., 2000) 안에 들지만, 60kg 육성돈의 경우 이를 상회함.
- 60kg 체중 육성돈의 일일 황화수소 배출량은 30kg 육성돈에 비해 약 2.2배 높음.

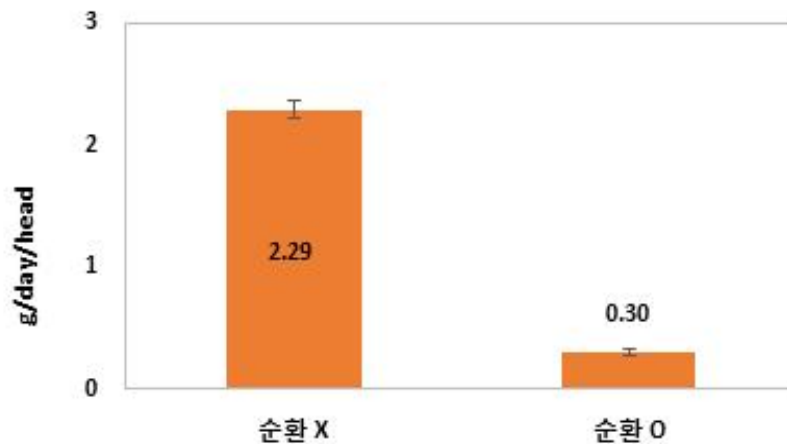
○ 액비순환 여부에 따른 육성돈(60kg) 암모니아 배출량<그림 30>



<그림 30> 액비순환 여부에 따른 두당 일일 암모니아 배출량(g/day/head)

- 육성돈 60kg, 액비순환 X: 22.04 ± 1.52 g/day/head (Mean±S.E., n=5)
- 육성돈 60kg, 액비순환 O: 11.65 ± 1.12 g/day/head (Mean±S.E., n=5)

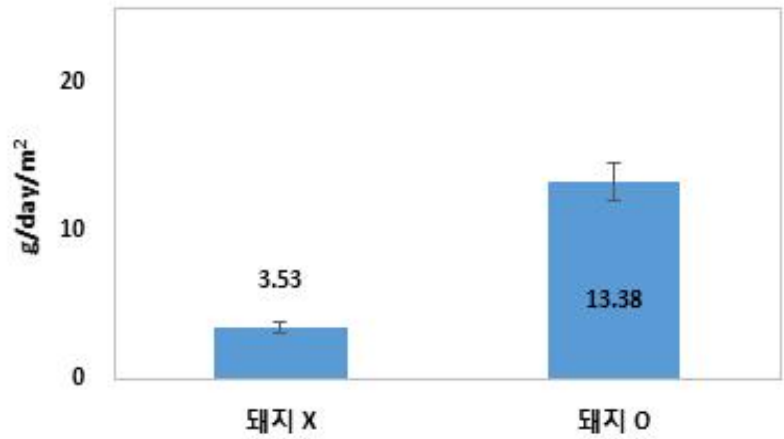
○ 액비순환 여부에 따른 육성돈(60kg) 황화수소 배출량<그림 31>



<그림 31> 액비순환 여부에 따른 두당 일일 황화수소 배출량(g/day/head)

- 육성돈 60kg, 액비순환 X: 2.29 ± 0.07 g/day/head (Mean±S.E., n=5)
- 육성돈 60kg, 액비순환 O: 0.30 ± 0.03 g/day/head (Mean±S.E., n=5)

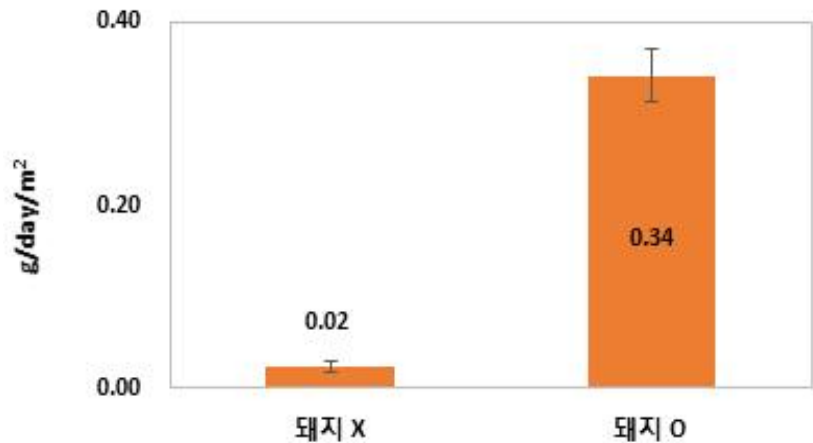
○ 돼지 유무에 따른 액비순환 돈방에서의 암모니아 배출량<그림 32>



<그림 32> 돼지(60kg) 유무에 따른 면적당 암모니아 배출량(g/day/m²)

- 액비순환시스템 자체 암모니아 배출량: $3.53 \pm 0.38 \text{ g/day/m}^2$ (Mean±S.E., n=5)
- 육성돈(60kg) 사육 중인 액비순환 돈방의 암모니아 배출량: $13.38 \pm 1.28 \text{ g/day/m}^2$ (Mean±S.E., n=5)
- 돼지 유무에 따른 액비순환 돈방의 암모니아 배출량을 비교한 결과, 순수하게 육성돈(60kg)에 의한 면적당 암모니아 발생량은 9.85 g/day/m^2 , 두당 일일 발생량은 8.58 g/day/head 로 나타남.

○ 돼지 유무에 따른 액비순환 돈방에서의 황화수소 배출량<그림 33>



<그림 33> 돼지(60kg) 유무에 따른 면적당 황화수소 배출량(g/day/m²)







- 액비순환시스템 자체 황화수소 배출량: $0.02 \pm 0.01 \text{ g/day/m}^2$ (Mean±S.E., n=5)
- 육성돈(60kg) 사육 중인 액비순환 돈방의 황화수소 배출량: $0.34 \pm 0.03 \text{ g/day/m}^2$ (Mean±S.E., n=5)
- 돼지 유무에 따른 액비순환 돈방의 황화수소 배출량을 비교한 결과, 순수하게 육성돈(60kg)에 의한 면적당 암모니아 배출량은 0.32 g/day/m^2 , 두당 일일 배출량은 0.2 g/day/head 로 나타남.

다. 악취발생 정밀 실태조사 대상농가 선정

○ 축산환경관리원으로부터 협조를 받아 광역축산악취개선사업 대상 농가 중 고성지역 5개 농가, 부여지역 1개 농가를 선정하여 현장조사를 실시하였으며, 아래 표에 요약하였음.

1) 00농장 : 무창, 슬러리돈사

○ 지역 : 경남 고성군 하이면

구분	내용	세부내용	비고
사육규모	2,200두	일관사육 모돈 220두 자돈 880두 육성돈 550두 비육돈 550두	분뇨발생량 11.2 t/day
MSY	21.5	폐사율 0.8%	
출하일령	160~170일	115 kg	
사료이용량	105 t/월	660 원/kg	
축사규모	9 동	슬러리 8동 평사 1동	농장 2개 용마루배기
퇴비화시설	1동		밀폐 X
액비화시설	1200 t 1~6차 : 100 t 저장조 : 600 t	1차: 스크류식 2차: 진동스크린 추후 고속데칸타	폭기
슬러리피트	80 cm		
폐가축처리	폐사축처리기 사용		
농장위치	민가와 500 m 이내		
특징	1. 돈사 한방: 20마리씩, 8 batch(5.4 × 4.8 m) 2. 천장배기팬(용마루 배기)사용 - 한 돈방당 4개의 천장배기 존재, 항상 1개 가동, 여름에 2개 가동, 심한 더위에만 3개 가동, 컨트롤러 한 개로 천장배기팬 4개 조절 3. All in, all out으로 농장관리 4. 액비순환식 준비 중(* 액비안정화까지 보는 기간 : 2년) - 액비순환식 공사 중(3~4개월 소요) - 액비 투입일정 : 6개월 후		
농장사진			
			
비육사 측면	돈사 내부	퇴비사	
			
액비화시설	천장배기팬	배기팬 컨트롤러	







2) 00농가 : 무창, 슬러리돈사

○ 지역 : 경남 고성군 고성읍

구분	내용	세부내용	비고
사육규모	1,900두	일관사육 모돈 330두 자돈 600두 육성돈 475두 비육돈 495두	분뇨발생량 9.7톤/일
MSY	23	폐사율 1%	
출하일령	180~190일	115 kg 내외	
사료이용량	63 t/월	635 원/kg	
축사규모	5 동	슬러리 5동	팬배기 5동
퇴비화시설	1동		밀폐 X
액비화시설	800 t 1차: 250 t 2차: 300 t 3차: 250 t	1차: 스크류식 2차: 고속데칸타	폭기 일이삼영노종합법인 살포
슬러리피트	120 cm		
폐가축처리	폐가축처리기 사용(염산으로 액화)		
농장위치	민가 600 m 이내		
특징	1. 바이오커튼 사용 (오존수, 3단분무) 2. 간헐적인 액비순환시스템 사용 3. 액비유통센터 운영 (2,000 톤 규모)		
농장사진			
			
입신사 외부	액비저장조	바이오커튼	
			
액비화시설	액비순환 제어기	퇴비사	

3) 00농가 : 무창, 슬러리돈사

○ 지역 : 경남 고성군 대가면

구분	내용	세부내용	비고
사육규모	17,000두	일관사육 모돈 1,200두 자돈 6,800두 육성돈 4,250두 비육돈 4,750두	2개의 농장으로 구성
MSY	22	폐사율: 4~10%	
출하일령	180 ~ 190일	115 kg 내외	
사료이용량	650 t/월	460 원/kg	
축사규모	6 동	슬러리 6동	팬배기 6동
퇴비화시설	1동		밀폐 X
액비화시설	4600 t 1차 : 1600 t 2차 : 2200 t 저장조 : 800 t	1차 스크류식 2차 고속데칸타	폭기
슬러리피트	90 cm		
폐가축처리	퇴비더미처리		
농장위치	민가 1 km이내		
특징	1. 2층 돈사건물, 한 돈방 3등분(큰방: 팬 3개, 작은방: 팬 1개) 2. 측면배기팬, 액비순환식, 바이오커튼(물, 액비, 오존수 사용)설치 예정 - 액비순환식 공사 (3~4개월 소요) *액비 투입일정 : 6개월 후		
농장사진			
			
비육사 외부	고액분리기	퇴비사	
			
액비화시설	액비저장조(지상)	측면 배기팬 외관	





4) 00농장 : 무창, 액비순환식

○ 지역 : 경남 고성군 고성읍

구분 사육규모	내용	세부내용 일관사육	비고
특징	-액비순환식 -네덜란드식 바이오필터 사용(이산화염소, 미생물제제) -중앙집중식 배기를 함으로 돈사에 천장배기를 사용 -쿨링패드 사용		
농장사진			
		축사 외부	중앙집중식 천장배기
		쿨링패드	네덜란드식 바이오필터
		퇴비사	액비화시설

5) 00축산 : 개방, 슬러리돈사

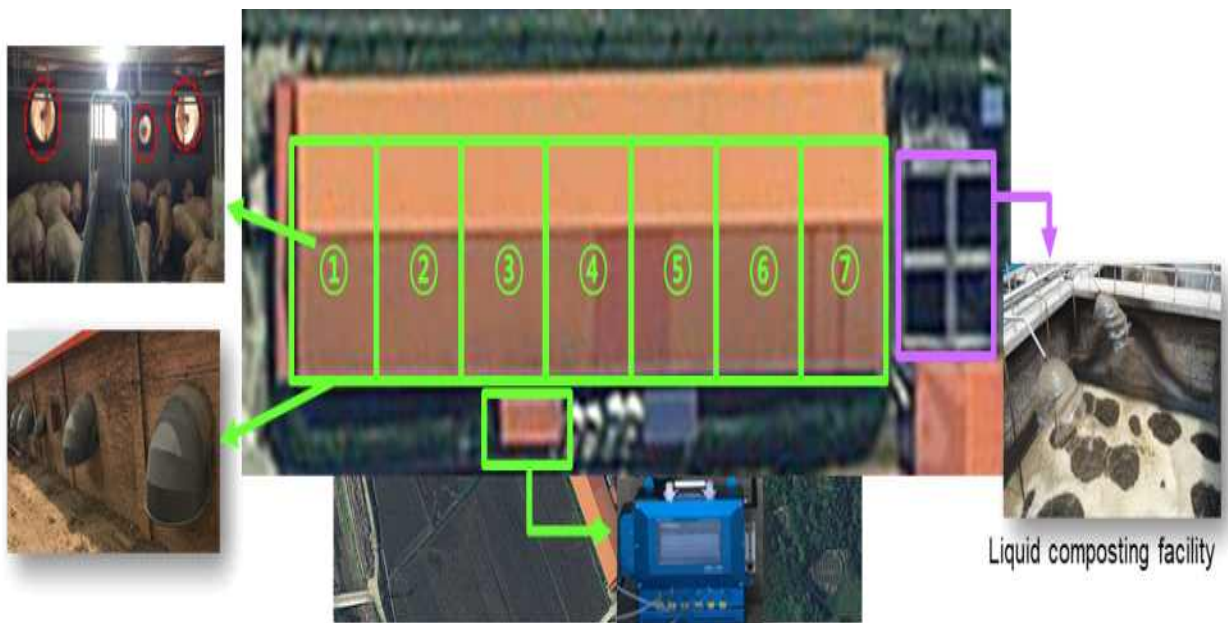
○ 지역 : 경남 고성군 거류면

구분	내용	세부내용	비고
사육규모	1,100두	위탁농가 육성돈 500두 비육돈 600두	분뇨발생량 5.6 t/day
MSY		폐사율: 3%	
출하일령	180~190일		
사료이용량	120 t/월	460 원/kg	
축사규모	4 동	슬러리 3동 툽밥 1동	원치커튼
퇴비화시설	1 동		밀폐 X
액비화시설	1,000 t		
슬러리피트	90 cm		
폐가축처리	퇴비더미처리		
농장위치	민가 100 m이내		
특징	1. 액비순환식 시설 공사 완료 2. 액비분배기로 액비순환 조절 3. 올해 9월중에 액비순환식 실시 예정		
농장사진			
			
육성사 외관	퇴비사	액비분배기	
			
액비화시설	액비침전조	돈사전경	

라. 악취발생 정밀평가 시스템을 이용한 축사 내 악취물질 배출 특성 평가(축사)

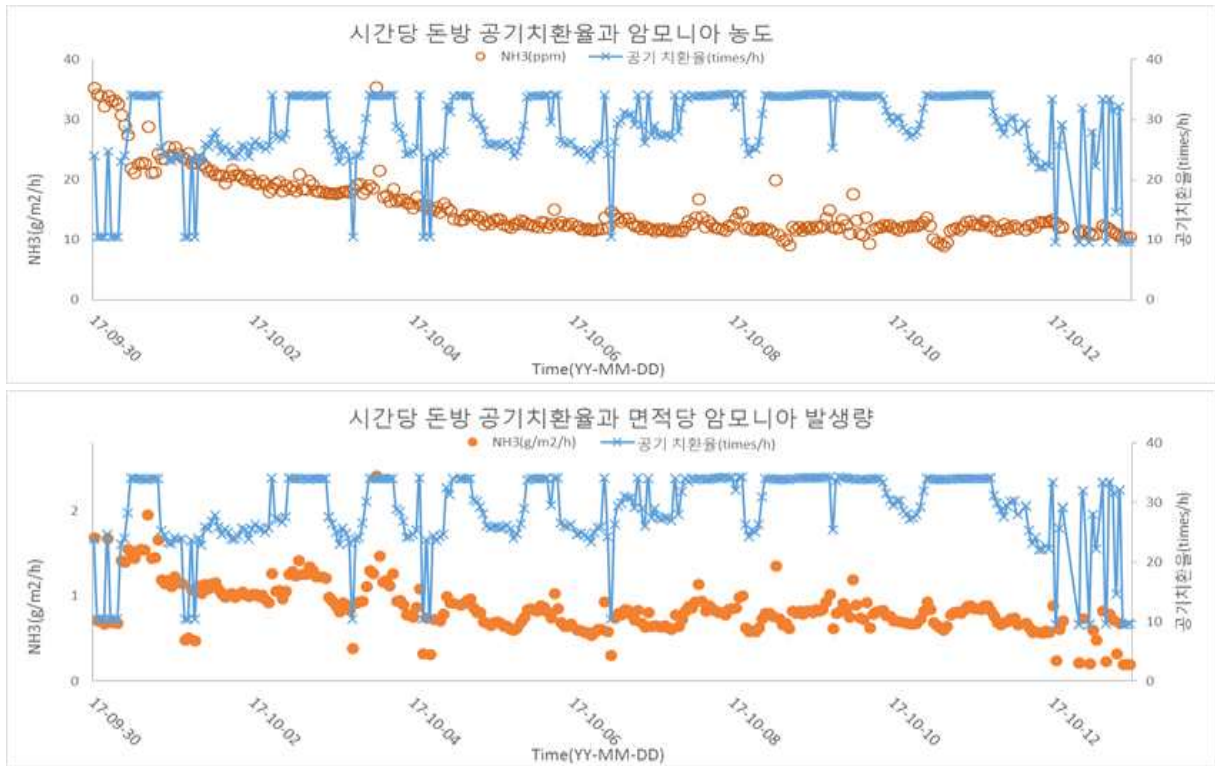
1) 돼지 사육단계별, 계절적 요인을 반영한 악취물질 배출계수 산정

- 본 연구에 선정된 A 양돈농가는 7개의 돈방으로 구성된 무창돈사로, 돈방(209 m²) 당 돼지 240두(사육밀도: 0.76 m²/head)를 사육하고 있었음. 각 돈방은 3개의 환기팬(Φ 550 mm: 126 CMM 1개, Φ 1,000 mm: 258 CMM 2개)을 돈방 내 온도 조절 및 환기를 목적으로 가동 중이었음. 본 연구에서는 육성-비육돈사의 악취발생 경향을 장기간 모니터링 하여 성장단계, 계절적 요인이 반영된 악취물질 배출계수를 산정하고자 함.

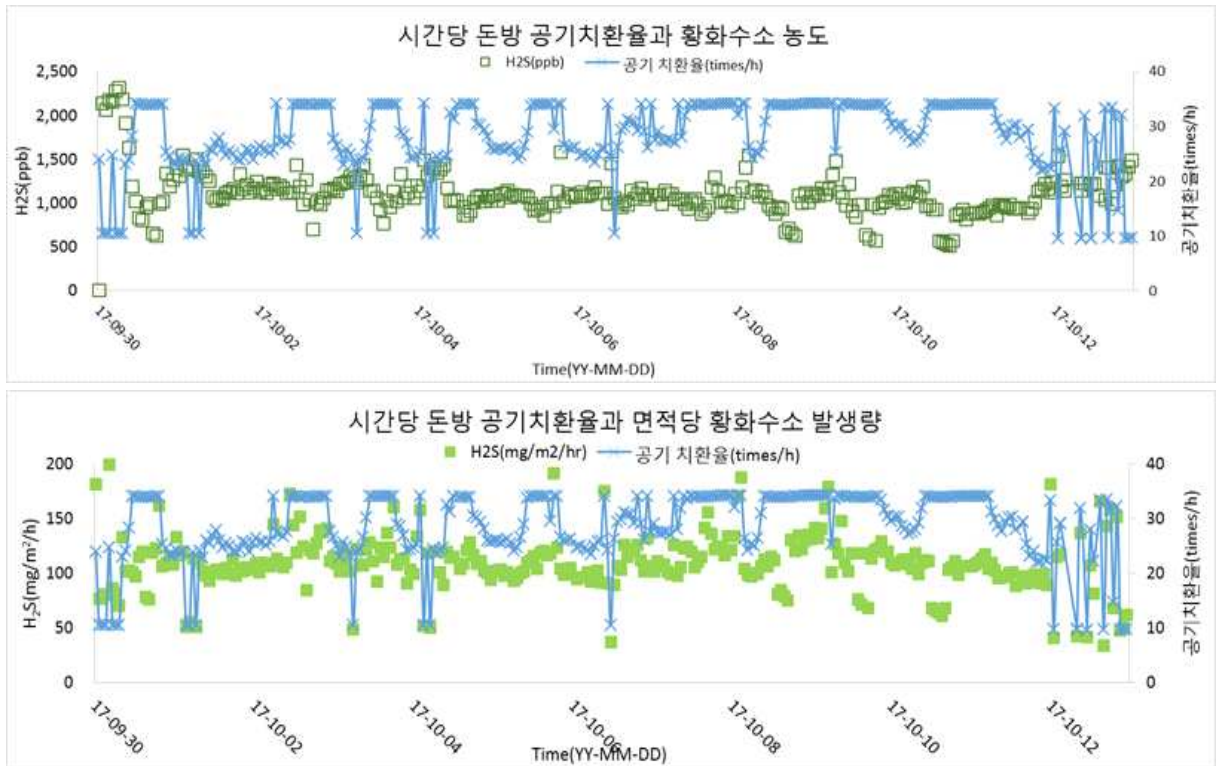


<그림 34> 악취발생 정밀평가 대상 양돈장(A)

- 연구 수행 방법
 - 기기분석을 활용한 On-site 악취물질(암모니아, 황화수소) 배출량을 측정하여 원격 모니터링 함.
 - 현장 조사 및 축사 내 작업자의 협조를 얻어 악취물질 배출량과 직접적 관련이 있는 사육두 수, 분뇨저장기간, 돼지 체중(성장단계) 등의 기초자료를 수집함.
 - 3~4주 간격으로 현장에서 표준가스를 이용하여 센서 보정을 시행해 측정장치의 정확도를 관리함.
- 연구 수행 결과
 - 가을철 무창돈사 슬러리 피트 돈방(80~90kg 비육돈)의 공기치환율과 악취물질 배출 특성



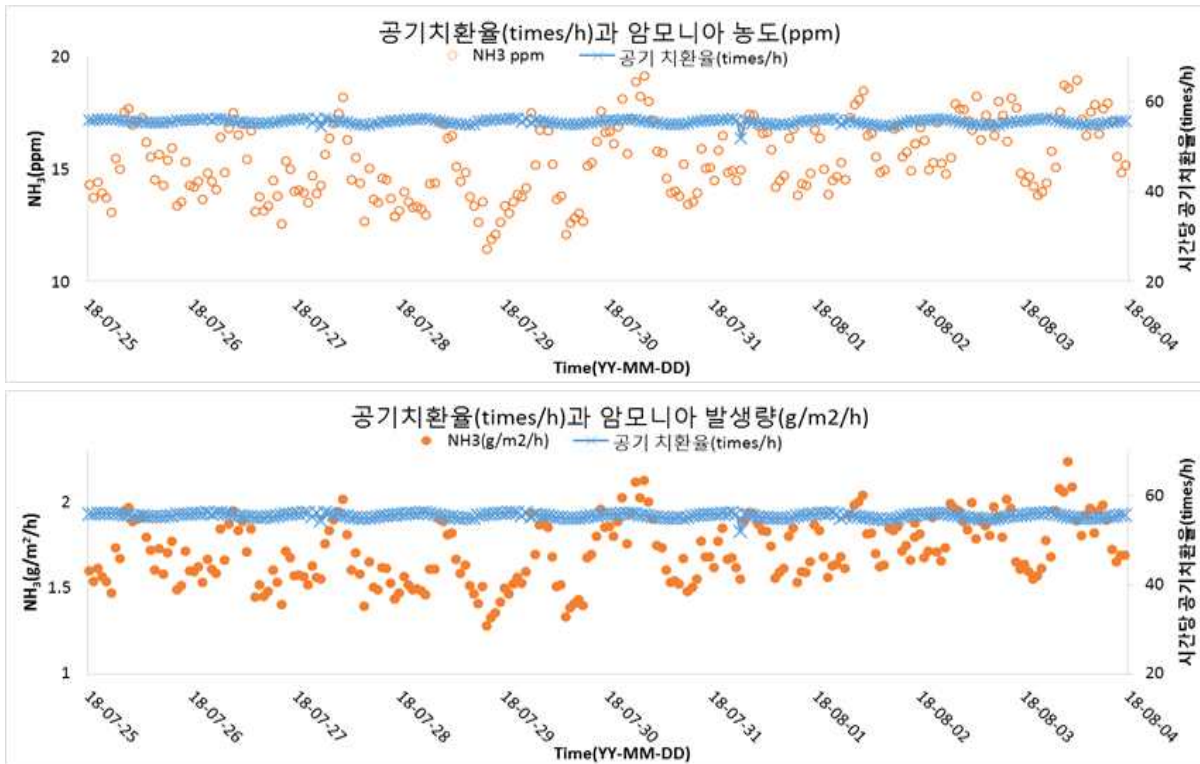
<그림 35> 가을철 비육돈방의 공기치환율과 암모니아 배출특성



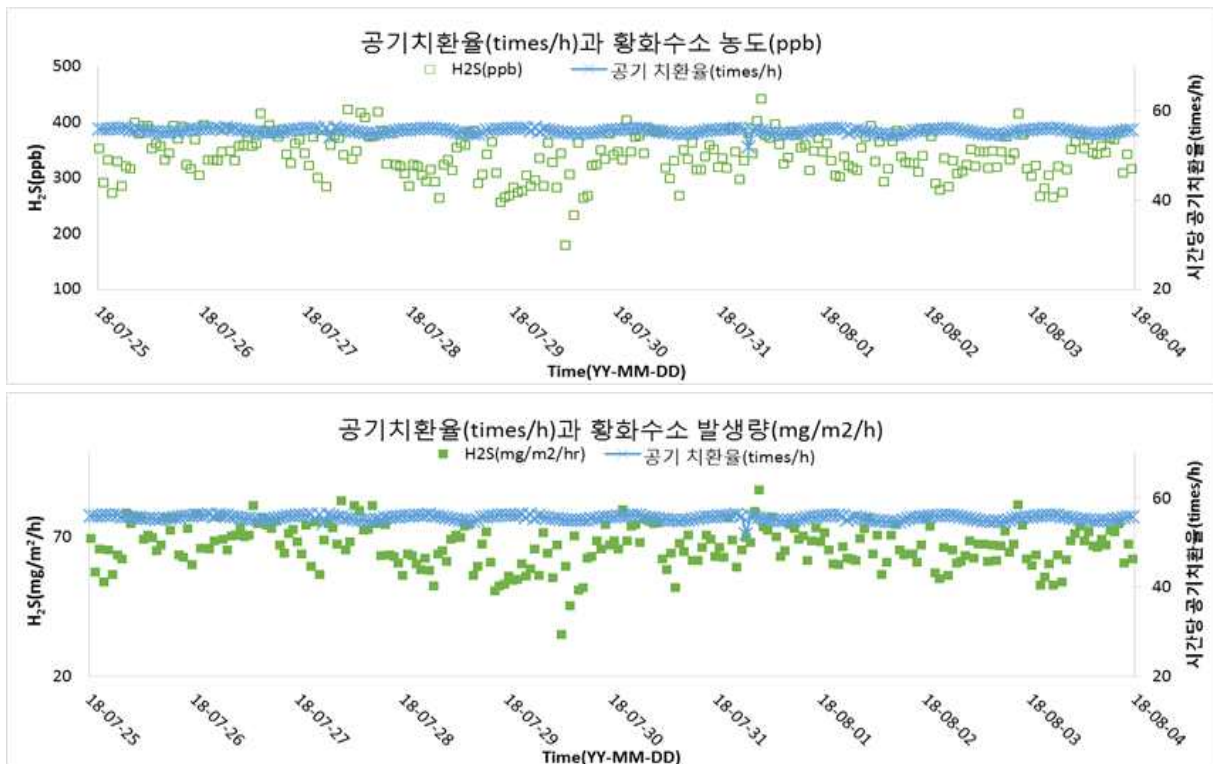
<그림 36> 가을철 비육돈방의 공기치환율과 황화수소 배출특성

- 공기치환율(times/h)은 기계적 환기시스템에 의해 돈방의 체적만큼 환기되는 횟수를 의미.
- 가을철 공기치환율은 시간당 10~35회로, 큰 일교차로 인해 환기량이 3~4단계로 조절됨에 따라 환기량이 높을 때 희석효과에 의해 악취가스의 농도가 낮아지는 현상을 보임.
- 가을철 악취물질 발생량은 악취가스의 농도보다 시간당 공기치환율과 더 높은 연관성을 보임.

- 여름철 무창돈사 슬러리 피트 돈방(80~90kg 비육돈)의 공기치환율과 악취물질 배출 특성



<그림 37> 여름철 비육돈방의 공기치환율과 암모니아 배출특성



<그림 38> 여름철 비육돈방의 공기치환율과 황화수소 배출특성

· 여름철 높은 기온으로 인해 주야간의 변화 없이 돈방 내 환기량이 최대 수준으로 유지됨에 따라 시간당 공기치환율 또한 56~58회 정도로 변화폭이 작음.

- 공기치환율이 일정하게 유지됨에 따라 악취물질 발생량은 하루 중 악취가스의 농도변화와 더 큰 상관관계를 보임.
- 악취가스센서 제원 및 검교정 정보
 - 본 연구에서는 스위스 Membrapor사의 Compact gas sensor를 이용하였으며, 측정대상 가스의 산화 환원 반응 시에 발생하는 전자의 양을 감지하여 해당 가스의 농도를 측정하는 방식임(전기화학식).
 - 암모니아와 황화수소 측정용 센서에 대한 세부 제원은 <표 68>에 요약하였음.

<표 68> 암모니아, 황화수소 전기화학식 센서 제원

제조사	Membrapor		
측정가스	암모니아		황화수소
모델명	NH ₃ /CR-50	NH ₃ /CR-200	H ₂ S/C-50
측정범위(ppm)	0~50	0~100	0~50
분해능(ppm)	0.5	1	0.05
작동 온도범위(°C)	-10~40	-10~40	-40~50
작동 상대습도범위(%)	15~90	15~90	15~90

- 전기화학식 가스센서의 특성 상 장기간 가스를 측정할 경우 일정주기마다 센서를 교정하는 작업이 필요함. 따라서 본 연구에서는 악취측정기의 센서 정확도 높이기 위해 3~4주에 1회 현장 방문하여 센서를 교정하는 작업을 수행하였음.
- 대상 악취가스(암모니아, 황화수소)센서의 교정은 테들러 백에 암모니아, 황화수소 표준가스를 포집한 후 단계적으로 희석한 후 검량하였으며, 가스센서 검교정 결과는 <표 69>에 요약하였음.

<표 69> 전기화학식 가스 센서 검교정 결과

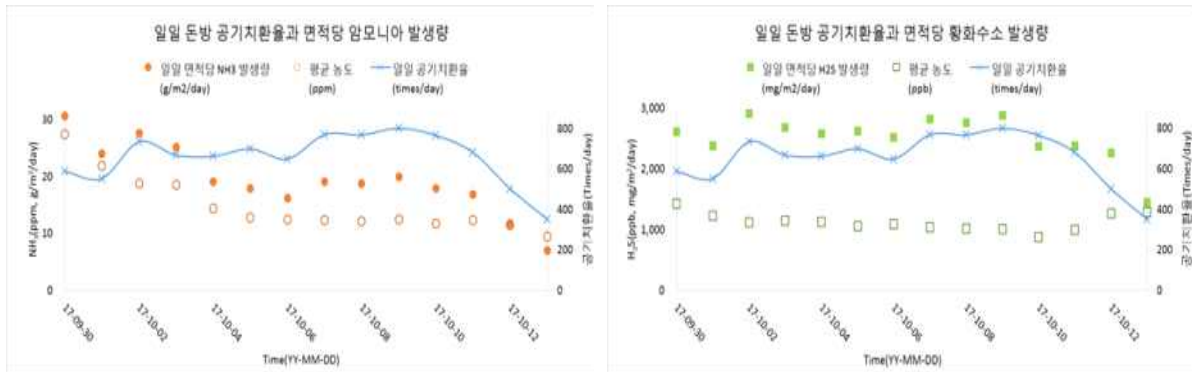
사용센서	NH ₃ /CR-50(암모니아)	H ₂ S/C-50(황화수소)
회귀직선 상수	a=136.1, b=-5.5	a=12.0 b=-4.7
결정계수(R ²)	0.9951	0.9999

· 현장에서 센서 교정을 실시한 결과는 <표 70>과 같음.

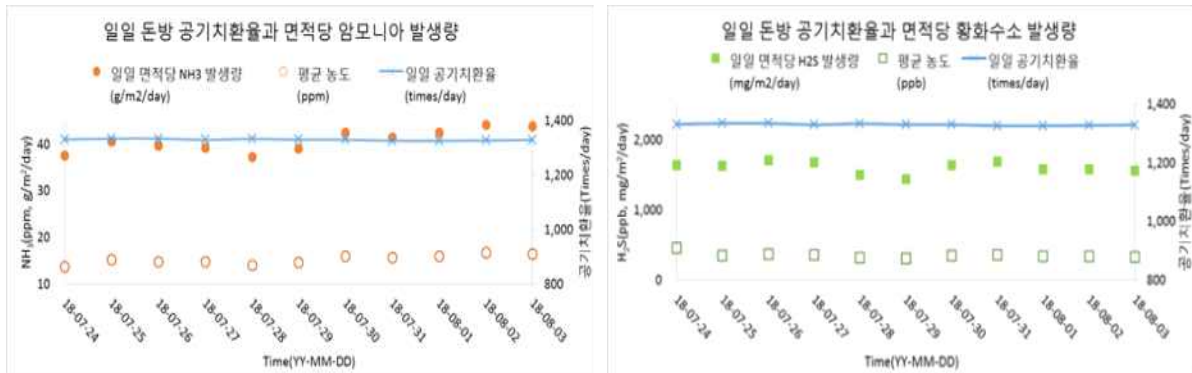
<표 70> 현장 평가 진행 중 센서 검교정 결과

검교정 일자 (YY-MM-DD)	암모니아			황화수소		
	a	b	R ²	a	b	R ²
17-10-16	94.8	-19.8	0.99	12.6	-5.0	0.99
17-11-13	94.4	-19.6	0.99	12.6	-5.0	0.99
18-01-19	172.8	-29.9	0.99	14.5	-5.8	0.99
18-02-27	172.8	-29.9	0.99	9.4	-3.7	0.99
18-04-09	165.1	21.5	0.99	10.9	-4.2	0.99
18-05-01	104.6	-6.7	0.99	19.5	-7.4	0.99
18-06-12	123.6	-18.9	0.99	11.3	-4.4	0.99
18-06-20	125.1	-15.6	0.99	12.4	-4.8	0.99
18-07-24	137.2	-16.0	0.99	16.6	-5.6	0.99
18-09-12	126.5	-3.5	0.99	11.1	-4.4	0.99
18-10-11	150.8	-28.0	0.99	15.0	-5.9	0.99

- 계절에 따른 일일 공기치환율 및 두당 악취물질 발생량의 특성



가을철 일일 공기치환율 및 암모니아, 황화수소 발생 특성



여름철 일일 공기치환율 및 암모니아, 황화수소 발생 특성

<그림 39> 계절에 따른 일일 공기치환율과 악취물질 배출 특성

- 계절에 따른 일일 공기치환율 및 두당 악취물질 발생량의 특성

<표 71> 가을철과 여름철의 일일 공기치환율과 악취물질 배출 특성

가을철	암모니아	황화수소	여름철	암모니아	황화수소
일일 공기 치환율	657±6		일일 공기 치환율	1331±3	
일일 평균 농도(ppm)	14.9±5.0	1.12±0.14	일일 평균 농도(ppm)	15.2±1.0	0.35±0.04
일일 두당 배출량(g)	17.0±5.3	2.19±0.32	일일 두당 배출량(g)	35.4±2.2	1.39±0.07

- 가을철 일일 공기치환율은 657±6(62.0±0.6 m³/h·head)회, 여름철은 1331±3(125.6±0.3 m³/h·head)회 로, 여름철 돈방의 환기량은 가을철의 약 2배임.
- 가을철 비육돈(80~90kg) 한 마리는 하루 중 17.0±5.3 g의 암모니아와 2.19±0.3 g의 황화수소를 배출하였으며, 여름철에는 각각 35.4±2.2 g, 1.39±0.1 g를 배출함.
- 여름철의 경우 가을철에 비해 돈방의 공기 치환율이 약 2배이나, 암모니아의 농도가 가을철보다 높은 현상을 보임. 이는 여름철 비육돈 사육시 조단백질 함량이 높은 육성돈 사료를 급여하는 등의 사양관리에 의한 것으로 판단됨.
- 돼지 사육단계 및 계절적 요인에 따른 암모니아, 황화수소 배출량 산정

<표 72> 일일 두당 암모니아 배출량(g/day·head)

	30~40kg	60~70kg	80~90kg
봄			
여름	11.9±5.6	27.9±2.6	35.4±2.2
가을	9.5±3.7		17.0±5.3
겨울		7.5±3.0	

<표 73> 일일 두당 황화수소 배출량(g/day·head)

	30~40kg	60~70kg	80~90kg
봄			
여름	0.56±0.16	1.69±0.11	1.39±0.07
가을	1.01±0.24		2.19±0.32
겨울		0.41±0.27	

- 돼지 한 마리의 하루 중 악취물질 배출량 산정 결과는 위와 같음.

2) 분뇨 수거방식(슬러리 피트, 액비순환식)에 따른 악취 물질 배출 특성 평가

- 본 연구에서는 돼지 사육 시 분뇨 수거 방식에 따른 악취물질 배출 특성을 조사하기 위해 기존 슬러리 피트에서 부분적으로 액비순환시스템을 이용하여 분뇨를 수거하는 A 양돈농가를 대상으로 악취물질 배출량을 비교·평가함.
- 연구수행 방법
 - 가을철 80kg대 비육돈을 사육 중인 일반 슬러리 피트 돈방과, 액비순환시스템을 이용 중인 돈방을 대상으로 암모니아와 황화수소 농도, 환기량, 온도 등을 약 2주간 모니터링함.
 - 액비순환시스템을 이용하여 분뇨를 수거하는 돈방에 대해, 순환하는 액비의 성상을 분석하여 액비가 악취물질 배출량에 미치는 영향을 평가하고자 함.



돈방 내부



액비화 시설

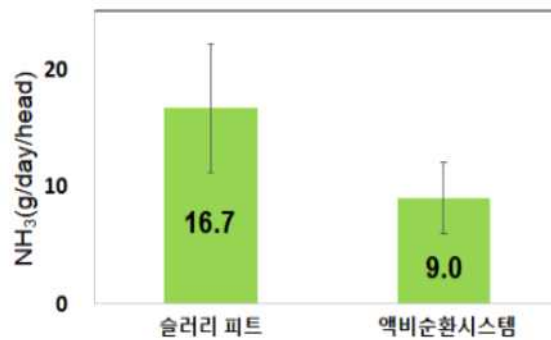


자동악취측정장치

<그림 40> A양돈농가 현장 사진

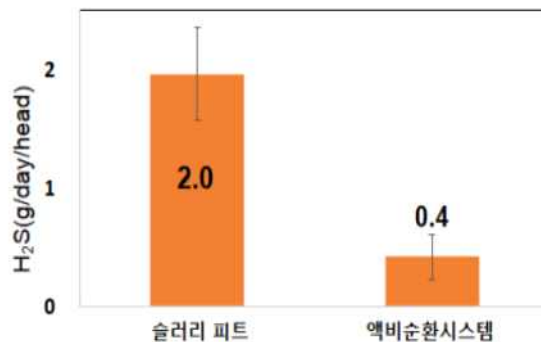
○ 연구 결과

- 암모니아, 황화수소 배출량 비교



<그림 41> 분뇨수거방식에 따른 일일 두당 암모니아 배출량 비교

- 슬러리 피트 시스템에서 사육된 비육돈(80kg) 한 마리는 하루 중 암모니아를 16.7±5.5 g을 배출하였으며, 액비순환시스템에서 사육된 돼지는 하루 중 9.0±3.0 g으로, 액비순환시스템에서 사육된 돼지는 약 46.3% 낮은 암모니아 배출량을 보임.
- 국외문헌에서는 슬러리피트에서 사육된 비육돈의 암모니아 배출량을 6.9~15.8 g(Eerden et al., 1981; Koerkamp et al., 1998; Hinz and Linke, 1998; Heber et al., 2001)으로 보고하였으며, 국내 슬러리피트에서 사육되는 돼지는 이와 비교 시 암모니아의 배출이 더 많은 경향을 나타냄. 이는 국내 유통되는 사료가 국외에 비해 상대적으로 조단백질 함량이 높다는 점과, 사육단계에 따른 단계적 사료 급이가 현장에서 잘 이루어지지 않기 때문으로 사료됨.



<그림 42> 분뇨수거방식에 따른 일일 두당 암모니아 배출량 비교

- 슬러리 피트 시스템과 액비순환시스템에서 사육된 비육돈 한 마리는 하루에 황화수소를 각각 $2.0 \pm 0.4\text{g}$, $0.4 \pm 0.2\text{ g}$ 배출하여, 액비순환시스템의 황화수소 배출량 저감율은 78.7%로 나타남.
- 국외문헌에서는 비육돈의 일일 두당 황화수소 배출량을 0.5~1.7 g(Heber et al., 2001; Zhu et al., 2000; Ni et al., 2000)으로 보고하여, 암모니아와 같이 황화수소의 배출량 또한 국내가 높은 경향을 보임.
- 액비순환시스템에서 사육된 돼지에서 황화수소의 배출량이 크게 낮은 것을 볼 수 있음. 황화수소는 혐기조건에서 생성되는데 액비순환시스템의 경우 액비 내 호기미생물이 황화수소의 배출을 크게 줄인 것으로 판단됨.
- 액비의 성상이 암모니아의 배출량 미치는 영향

<표 74> 순환 액비 성상 분석 결과

Items	Results
pH	8.6
Total N(mg/L)	1,175
NH ₄ -N(mg/L)	918
NO ₃ -N(mg/L)	223

- 액비 분석결과 pH는 8.6으로, 잘 부숙된 액비가 중성의 pH(≈ 7.0)를 보이는 것에 비해 상대적으로 높았음. 또한 액비 내 존재하는 질소의 대부분이 퇴비화를 거친 최종 형태인 질산이 아닌 암모늄태로 존재하는 것으로 미루어, 질산화가 완전히 일어나지 않은 액비가 순환시스템에 이용된 것으로 판단됨.

<표 75> 온도와 pH에 따른 Total N 중 NH₃-N의 비율(%)

Temp.(°C)/pH	6	7	8	9
35	0.113	1.1	10.1	53.0
20	0.0	0.4	3.8	28.4

- Koziel et al.(2017)은 온도와 pH에 따라 전제 질소 중 암모니아로 존재하는 질소의 비율을 제시하였음. pH가 6으로 낮을 시 NH₃-N의 비율은 0.1%에 그치나, pH가 9로 높으면 28.4~53.0%의 질소가 암모니아로 휘산됨.
- 액비순환시스템에 이용된 액비의 경우 8.6정도의 pH와, 높은 암모늄태 질소 함량으로 인해 액비 내 질소가 암모니아로의 휘산율이 높음. 이는 액비순환시스템의 높은 황화수소 저감율에 비해 상대적으로 낮은 암모니아 저감율의 원인이 됨.

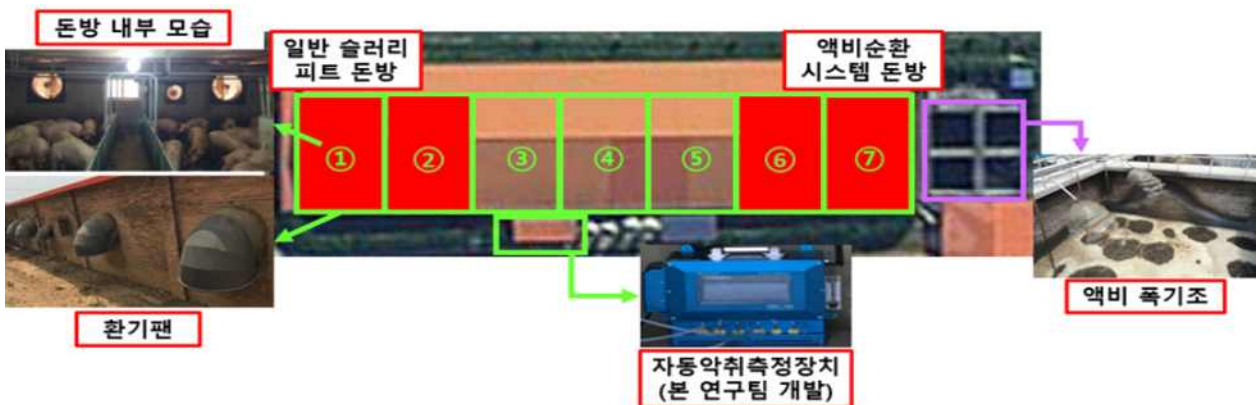
다. 악취발생 정밀평가 시스템을 이용한 축사 내 육성-비육돈의 악취물질(NH_3 , H_2S) 발생 특성 및 배출량 평가

1) 분뇨수거방식(일반 슬러리피트, 액비순환시스템)에 따른 육성-비육돈의 NH_3 , H_2S 배출 계수 산정

- 본 연구에서 선정한 부여 소재 A 양돈농가는 일관사육농가로, 그 중 측정대상이 된 축사는 30kg대 육성돈을 입식하여 115kg에서 출하하는 무창 육성-비육돈사임. 축사 내 7개의 돈방은 천장으로 입기가 되며 측벽배기팬을 환기 및 온도 조절을 목적으로 가동하였음. 각 돈방은 분뇨수거 방법으로 슬러리피트 시스템과 액비순환시스템 중 하나를 적용 중이었음.
- 본 연구에서는 악취발생 정밀평가시스템(자동악취측정장치)을 이용하여 서로 다른 분뇨수거방식(슬러리피트 시스템, 액비순환시스템)에 따른 육성-비육돈의 NH_3 와 H_2S 배출량을 돼지의 성장단계와 계절적 요인을 반영하여 산정하였음. 또한 돼지에게 급여된 사료, 측정 대상 돈방의 분뇨 및 액비를 채취, 분석하려 사료 성분 및 액비 성상이 육성-비육돈의 가스 배출량에 미치는 영향을 평가하였음.

<표 76> A 양돈농가 육성-비육돈사 특성

특성	비고
돈사 및 사육유형	무창 육성-비육돈사
사육단계	30-115kg/head 육성-비육돈
사육밀도	약 0.76 m ² /head (돼지 240두를 209 m ² 면적의 돈방에서 사육)
바닥 및 피트 특성	전면 슬랏, 피트 깊이 1.2 m
입기방식	천장입기(one-side baffle식, 300 × 300 mm, 8개)
배기방식	측벽배기(돈방 당 Φ 550 mm; 126 CMM 1기, Φ 1,000 mm; 258 CMM 2기)
분뇨수거방식	슬러리피트 시스템: 1~3번 돈방
	액비순환시스템: 4~7번 돈방



<그림 43> A 양돈농가 육성-비육돈사 특성

○ 연구수행 방법

- 본 연구기관에서 개발한 on-site 자동악취측정장치를 이용하여 서로 다른 분뇨수거 방법을 적용중인 돈방 4개(슬러리피트시스템 2개, 액비순환시스템 2개)를 대상으로 각 돈방의 NH₃와 H₂S 농도, 온도, 환기량을 측정하고 원격 모니터링함. 배출량은 아래 <식 1> 을 이용해 산정함.

<식 1>

Gas emission per hour ($gh^{-1}head^{-1}$) =

$$(C_E \times V \times \frac{273.15 \times MW}{(273.15 + T_E) \times 22.4 \times 10^3} - C_A \times V \times \frac{273.15 \times MW}{(273.15 + T_A) \times 22.4 \times 10^3}) \times 60 \div heads$$

C_E = Gas concentration of exhausted air (mL/m³)

V = Room ventilation rate (m³/min)

MW = Molecular weight of target gas (g/mol)

T_E = Ambient air temperature (°C)

C_A = Gas concentration of ambient air (mL/min)

T_A = Ambient air temperature (°C)

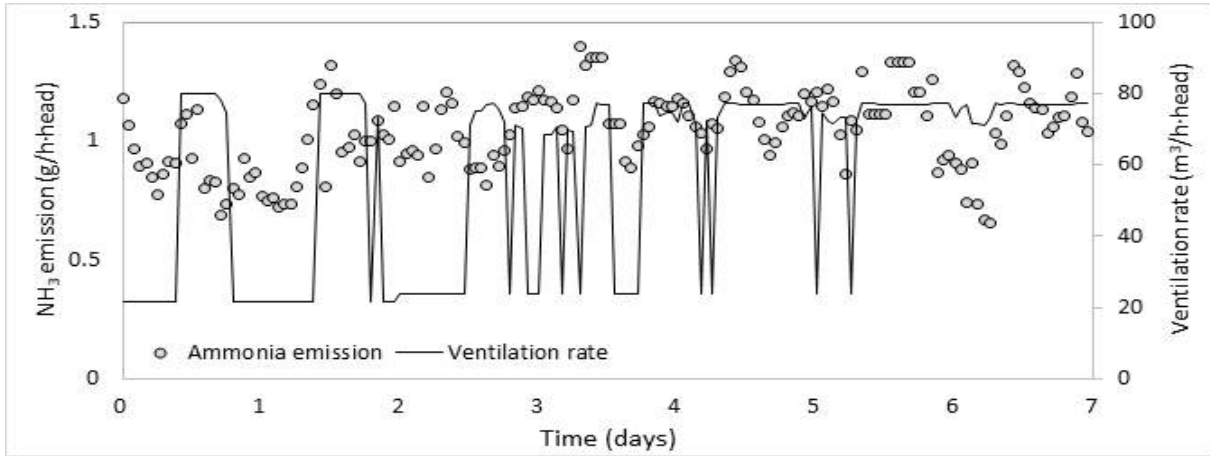
- 현장 방문 조사 및 축사 내 작업자의 협조를 얻어 악취물질 배출량과 관련이 있는 사육두수, 돼지 입식·출하일자, 분뇨 저장기간, 청소일자 등의 자료를 수집함.
- 정기적으로 실험현장을 방문하여 표준가스로 자동악취측정장치 내 NH₃, H₂S 센서 검교정, 온도 센서 교체를 실시함.
- 실험현장을 방문하여 액비와 각 돈방 슬러리피트 내 분뇨를 채취하여 함수율(moisture content, MC), 휘발성고형물(volatile solids, VS), pH, 전기전도도(Electric conductivity, EC), 암모니아성 질소(NH₄-N), 질산성 질소(NO₃-N) 함량을 분석함. 또한 육성-비육돈에게 급여되는 사료를 채취하여 일반성분분석법으로 조단백질(crude protein, CP), 조섬유(crude fiber, CF), 조지방(Ether extract, EE) 함량을 분석함.

○ 연구 수행 결과

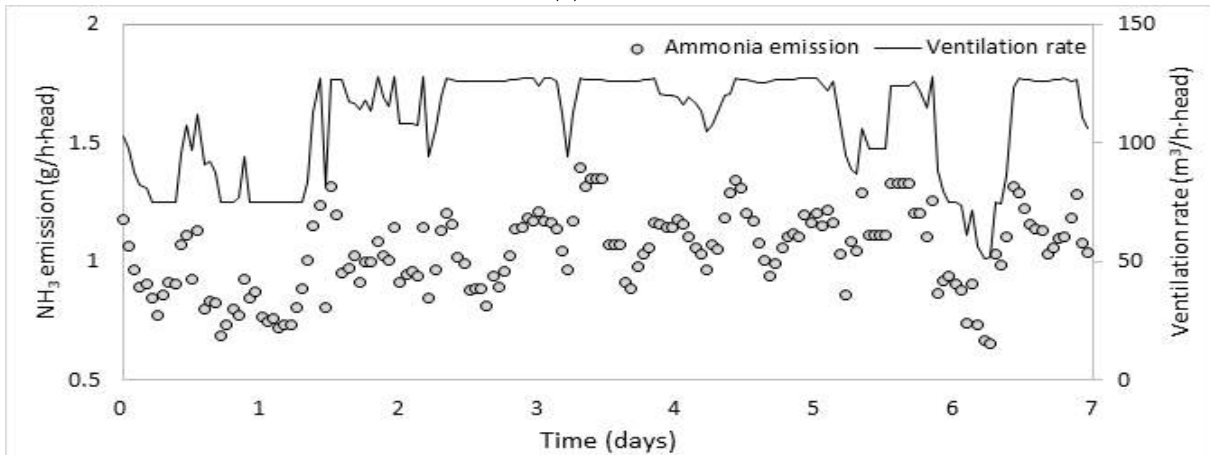
- 슬러리피트 시스템으로 분뇨를 수거하는 돈사에서 사육된 비육돈(60~80kg)의 계절별 NH₃, H₂S 배출특성
 - NH₃의 경우 봄/가을, 여름, 겨울철 돈방의 평균농도가 13.1 ± 3.3, 13.2 ± 1.5, 13.6 ± 1.5 ppmv로 계절간 차이를 보이지 않았음. 그러나 계절에 따라 돈방 내 온도조절을 위해 배기팬을 추가적으로 가동함으로써 환기량의 큰 차이를 인해 비육초기 돼지의 일일 두당 NH₃ 배출량은 여름이 24.9 ± 2.0 g으로 가장 높았으며, 겨울이 7.0 ± 2.0 g으로 가장 낮았음<그림 44>.
 - H₂S 평균농도는 봄/가을에 0.7 ± 0.1, 여름에 0.5 ± 0.1, 겨울 0.3 ± 0.2 ppmv로 봄/가을철에 가장 높았음. 그러나 NH₃와 마찬가지로 겨울철 평균 환기량(27.6 ± 1.2 m³/h·head)에 비해 최대 3.8배 높은(여름철 105.0 ± 15.0 m³/h·head) 계절간 환기량 차이로 인해 여름철 H₂S 배출량이 1.7 ± 0.1 g 으로 가장 높았으며, 봄/가을(1.2 ± 0.1 g), 겨울(0.2 ± 0.2 g)

순으로 나타남 <그림 45>.

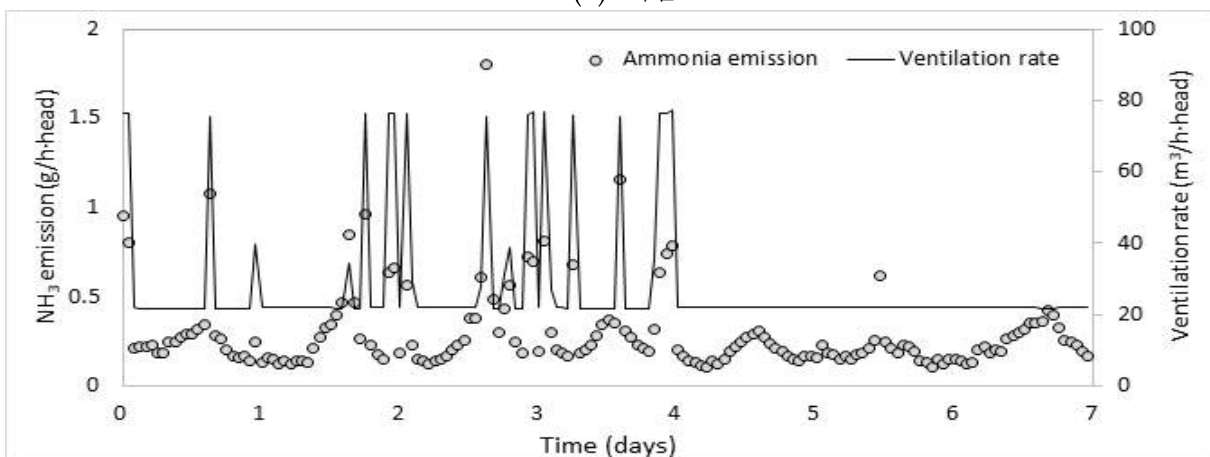
- NH₃ 와 H₂S 모두 환기량이 배출량에 미치는 영향이 큼. 이는 하루 중 환기량의 변화가 큰 봄/가을에 잘 나타나지만<그림 44a, 45a>, 여름, 겨울과 같이 환기량의 일중 변화가 크지 않은 계절에는 약한 상관관계를 보임.



(a) 봄/가을

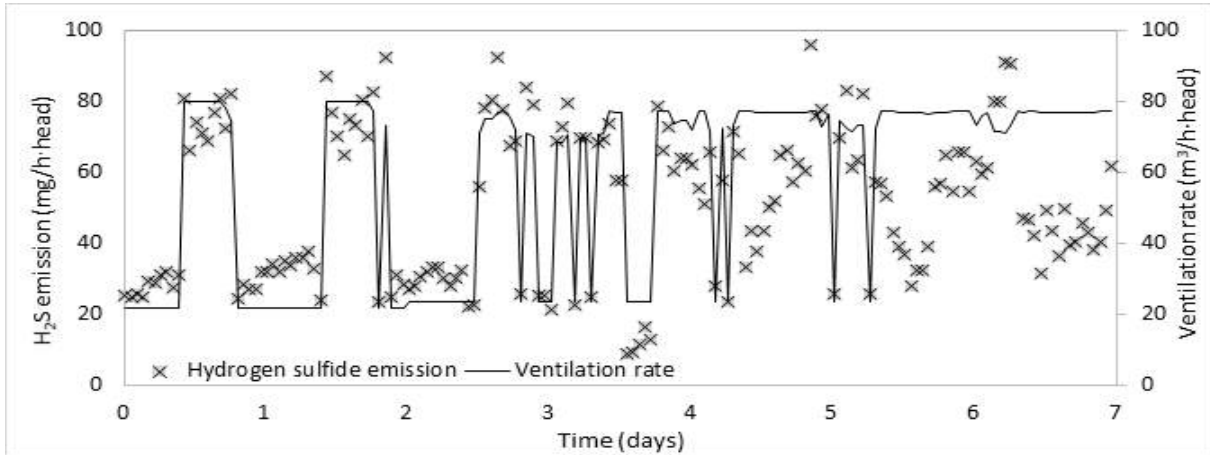


(b) 여름

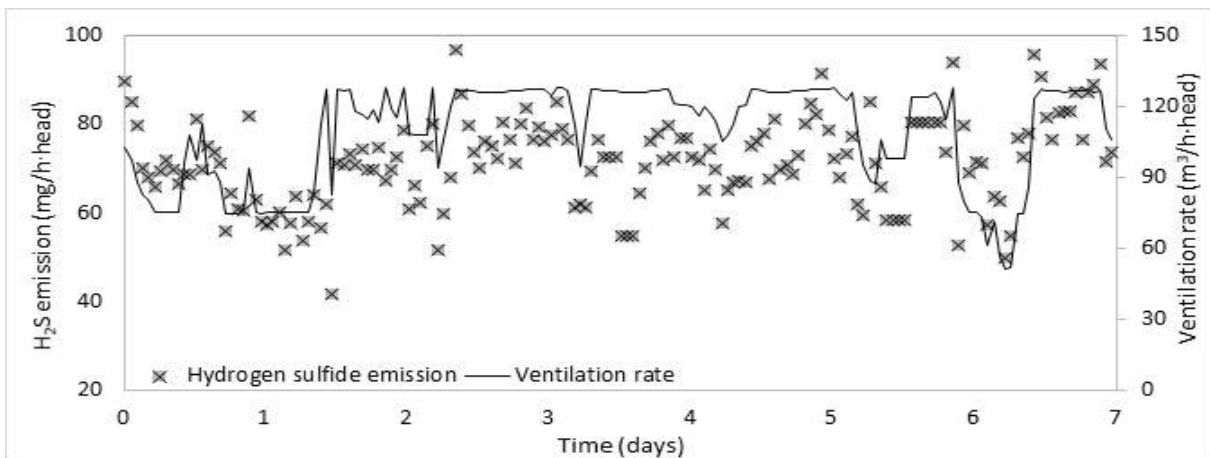


(c) 겨울

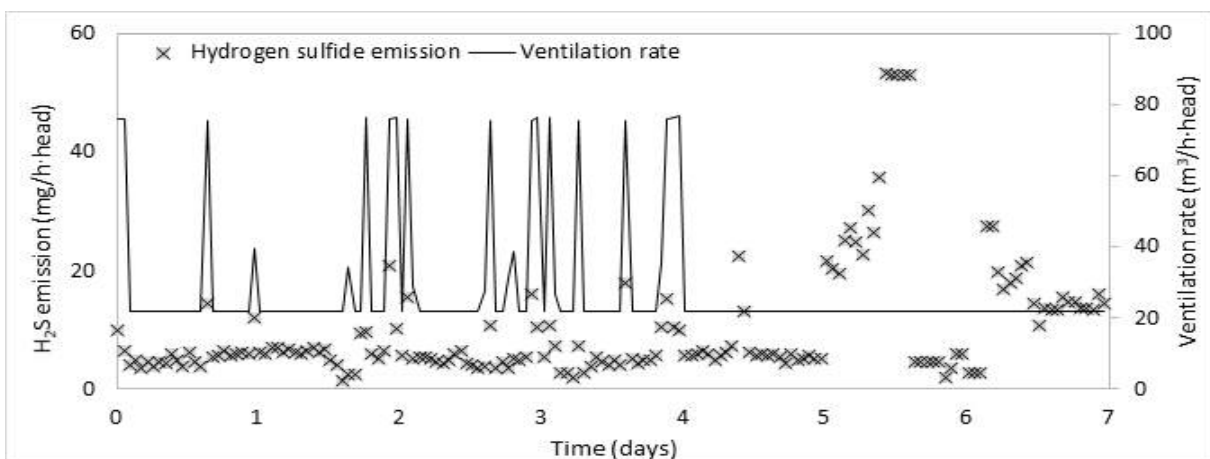
<그림 44> 슬러리피트 시스템에서 사육된 비육돈(60~80kg)의 계절별 NH₃ 배출특성



(a) 봄/가을



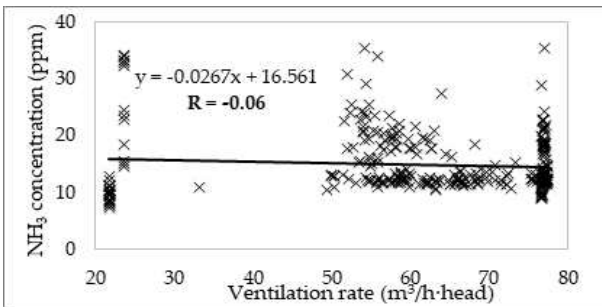
(b) 여름



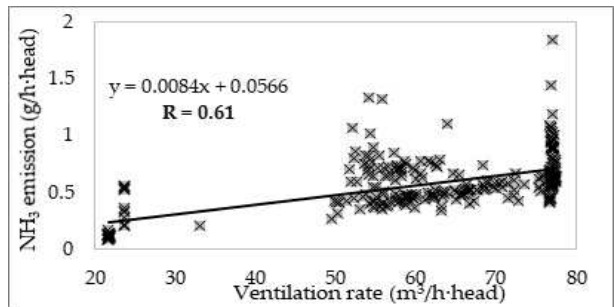
(c) 겨울

<그림 45> 슬러리피트 시스템에서 사육된 비육돈(60~80kg)의 계절별 H₂S 배출특성

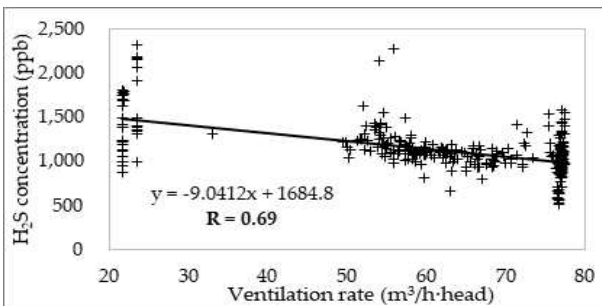
- 봄/가을과 여름철 슬러리피트 시스템의 환기량과 가스농도, 배출량의 상관관계
 - <그림 46>는 봄/가을철 슬러리피트 시스템이 적용된 비육돈방의 환기량이 NH₃, H₂S 농도와 배출량에 미치는 영향을 분석한 것임. 봄/가을의 경우 큰 일교차로 인해 돈방 내 환기량은 최소환기 수준인 20 m³/h·head에서부터 80 m³/h·head까지 크게 변화함 <그림 46>.
 - 봄/가을철 돈방의 환기량은 NH₃ 농도에 영향을 미치지 않으나(R=-0.06), H₂S 농도는 가스 희석효과로 인해 환기량과 강한 음의 상관관계를 보임(R=-0.69).
 - 환기량과 가스배출량의 상관관계를 나타내는 <그림 46b, 46d>로부터 가을철 환기량의 변화는 NH₃, H₂S 배출량과 높은 양의 상관관계를 나타냄(NH₃ R=0.61, H₂S R=0.65).



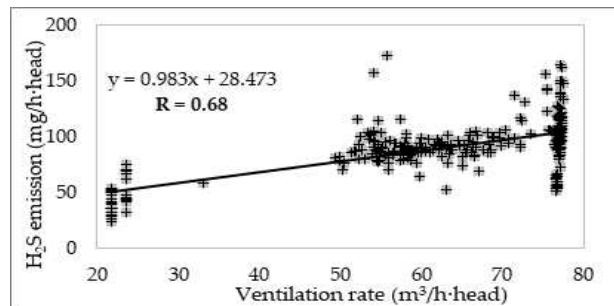
(a) 환기량과 NH₃ 농도의 상관관계



(b) 환기량과 NH₃ 배출량의 상관관계



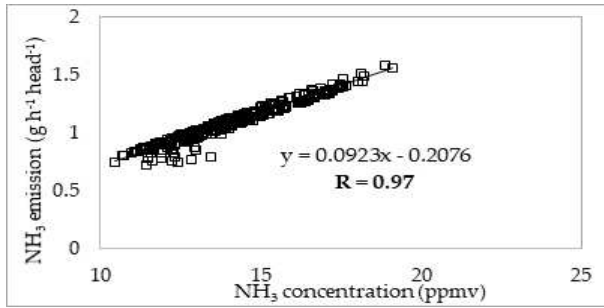
(c) 환기량과 H₂S 농도의 상관관계



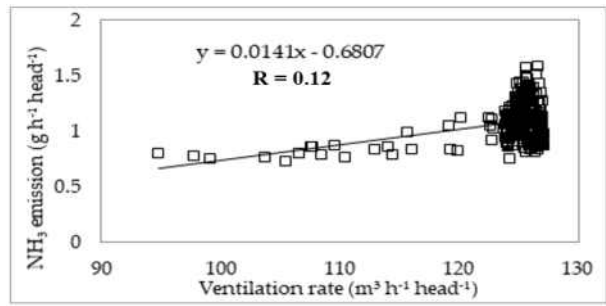
(d) 환기량과 H₂S 배출량의 상관관계

<그림 46> 봄/가을철 비육돈방 환기량과 가스농도, 배출량의 상관관계

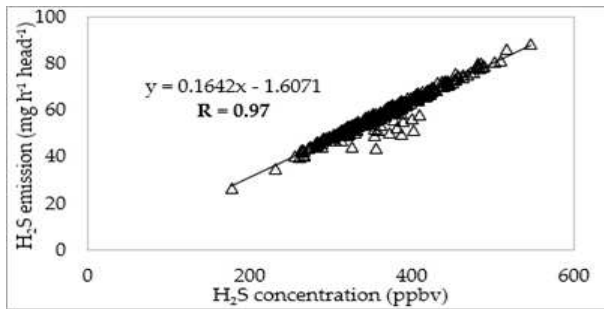
- <그림 47>는 여름철 슬러리피트 시스템이 적용된 비육돈방의 환기량과 가스농도가 배출량에 미치는 영향을 분석한 것임. 여름철 돈방 내 온도 조절을 위해 환기량 90 m³/h·head 이상이 되도록 배기팬을 가동하였으며, 대부분의 실험기간 동안 최고환기 수준인 128 m³/h·head 로 유지되었음.
- 여름철에는 환기량이 최고수준으로 유지됨에 따라 가스 배출량에 영향을 미치는 주요인이 돈방 내 가스의 농도가 됨. NH₃와 H₂S 가스의 농도는 배출량과 R=0.97의 높은 상관관계를 보임. 그에 반해 환기량과 NH₃, H₂S 배출량 사이의 R-value는 각각 0.12, 0.02로 서로 관련성이 매우 낮음 <그림 47>.



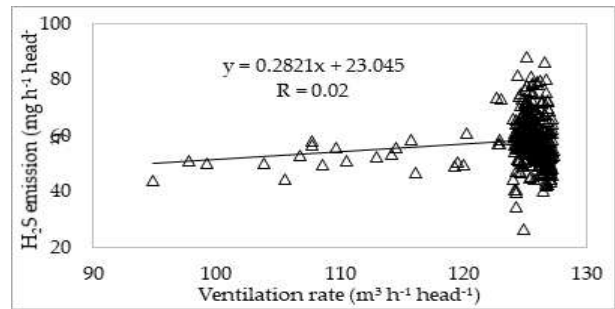
(a) NH₃ 농도와 배출량의 상관관계



(b) 환기량과 NH₃ 배출량의 상관관계



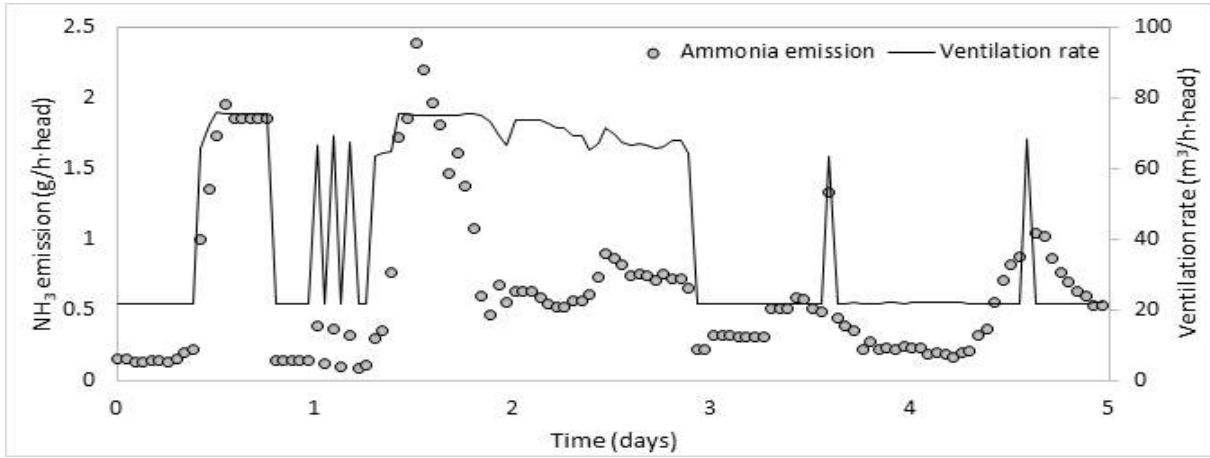
(c) H₂S 농도와 배출량의 상관관계



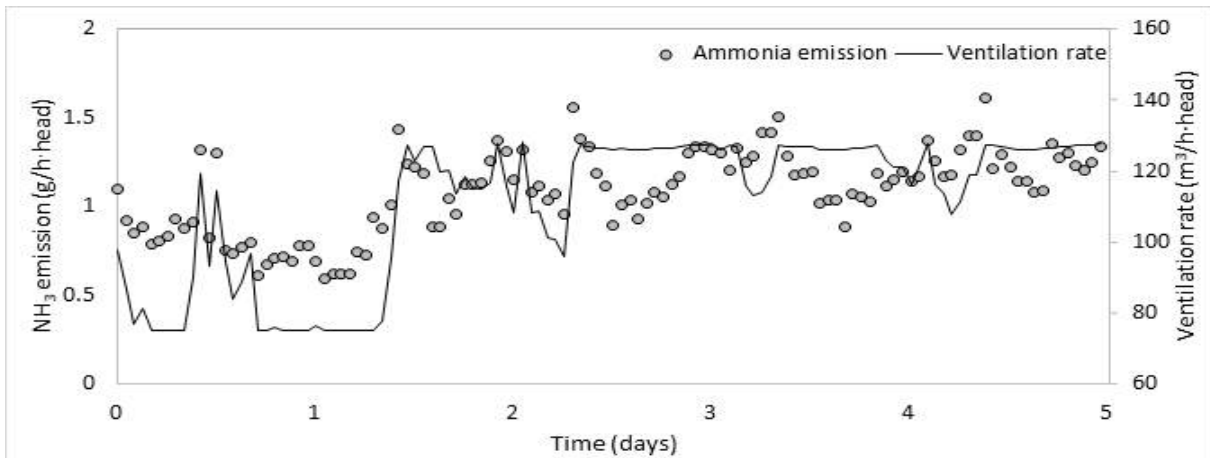
(d) 환기량과 H₂S 배출량의 상관관계

<그림 47> 여름철 비육돈방 환기량과 가스농도, 배출량의 상관관계

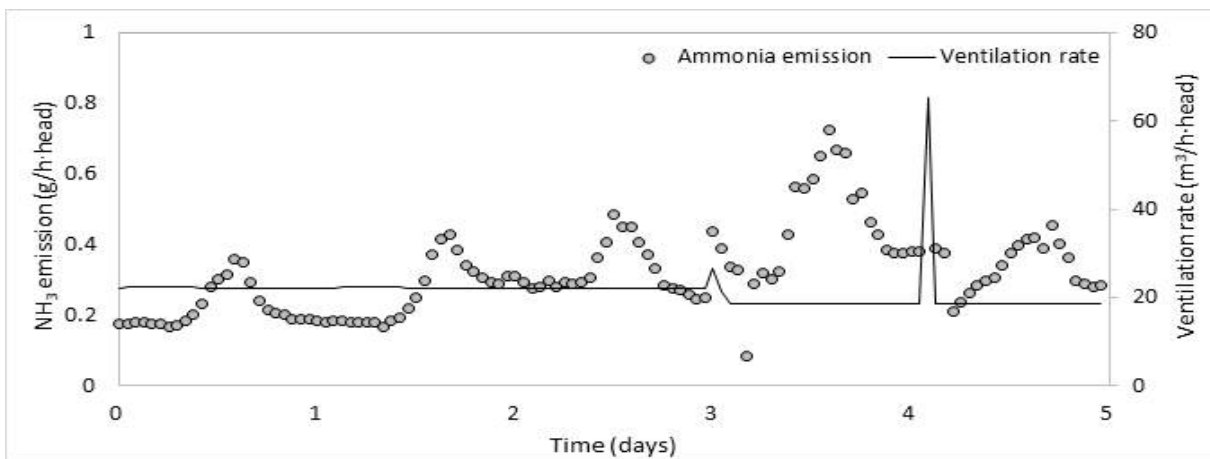
- 액비순환시스템으로 분뇨를 수거하는 돈사에서 사육된 비육돈(60~80kg)의 계절별 NH₃, H₂S 배출특성
 - 각 계절의 실험기간 중 NH₃ 농도는 봄/가을에 5.0 ~ 41.1, 여름 11.8 ~ 19.5, 겨울 5.9 ~ 50.1 ppmv의 범위를 보였으며, 계절별 평균 일일 NH₃ 농도는 봄/가을, 여름, 겨울 순으로 각각 20.1 ± 7.3 , 15.5 ± 0.4 , 20.3 ± 7.0 ppmv로 나타남. 여름과 봄/가을의 평균 시간·두당 환기량은 111.0 ± 17.3 , 43.5 ± 20.3 m³로 겨울(21.3 ± 1.3 m³)에 비해 각각 5.2배, 2.0배 높았으며, 이에 따라 여름철 일일 두당 NH₃ 배출량은 26.1 ± 4.0 g으로 가장 높았음 <그림 48>.
 - H₂S 농도는 봄/가을에 0.1 ± 0.0 , 여름 0.2 ± 0.1 , 겨울 0.1 ± 0.0 ppmv로 계절간 큰 차이를 보이지 않았으나, 환기량의 차이로 인해 배출량은 여름철(0.6 ± 0.2 g)에 가장 높았고, 겨울(0.1 ± 0.0 g/head·day)에 가장 낮았음 <그림 48>.



(a) 봄/가을

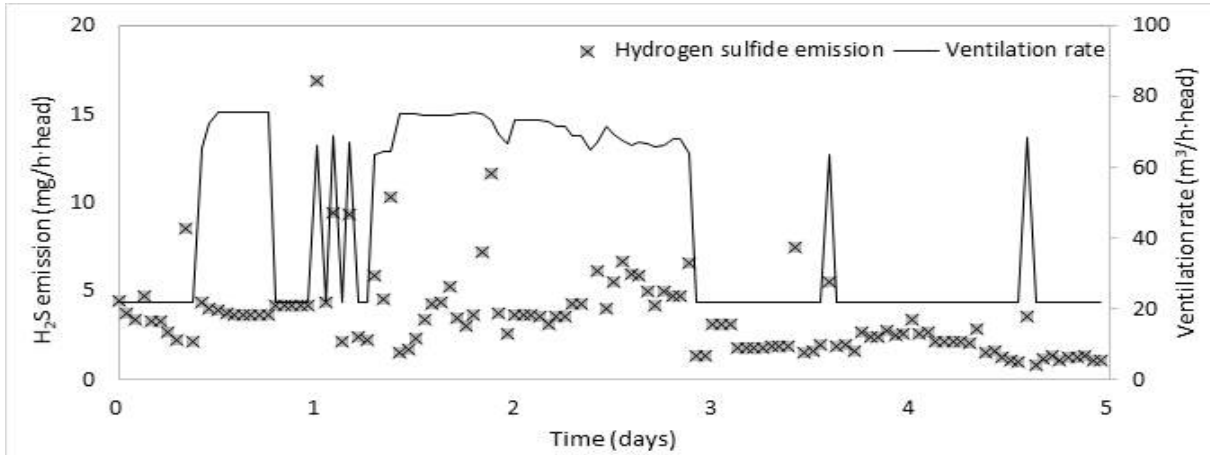


(b) 여름

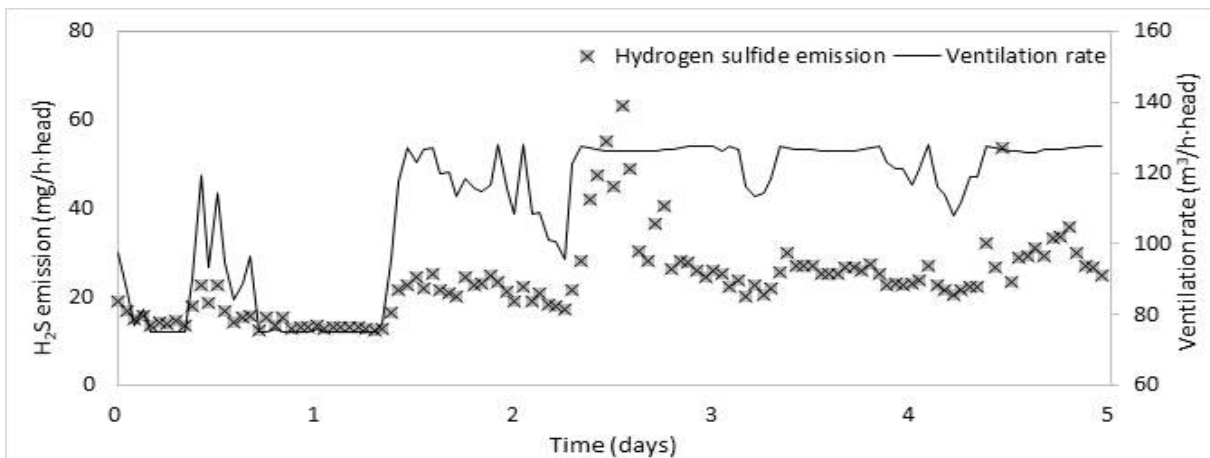


(c) 겨울

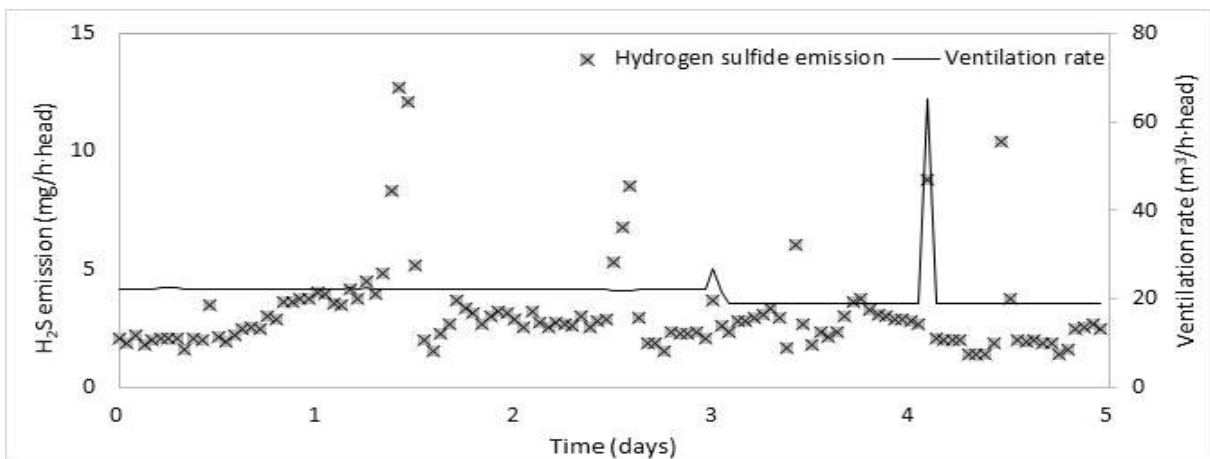
<그림 48> 액비순환 시스템에서 사육된 비육돈(60~80kg)의 계절별 NH₃ 배출특성



(a) 봄/가을



(b) 여름



(c) 겨울

<그림 49> 액비순환시스템에서 사육된 비육돈(60~80kg)의 계절별 H₂S 배출특성

- 액비의 연중 성장 변화가 액비순환시스템에서 사육된 돼지의 가스 배출량에 미치는 영향
 - 본 연구에서는 주기적으로 실험농장을 방문하여 피트 내로 투입되는 액비를 채취하고 그 성장을 분석함<표 77>.
 - 본 연구를 수행한 A 양돈농가의 자체 생산 액비는 2월경 총 질소(Total N)와 NH₄-N 함량이 크게 증가하고, 동시에 NO₃-N 질소의 함량이 감소하는 것을 볼 수 있음. 분뇨 내 유기 질소가 액비화과정 중에 NH₄-N 상태를 거쳐 최종적으로 NO₃-N 형태로 안정화되는 것을 고려할 때, 2~7월의 액비는 부숙이 완료되지 않은 것으로 판단됨.
 - Total N 중 NH₄-N의 비율이 높으면서 pH 8정도로 약염기를 띠는 봄~여름철의 액비는 피트 내부에 충전되어 돈방의 높은 온도에 노출되면 NH₃ 가스로 휘발될 가능성이 매우 높아짐. 이는 여름철 액비순환시스템 돈방에서 높은 환기량에도 불구하고 NH₃ 농도가 크게 감소하지 않는 원인이라고 판단됨.

<표 77> 연중 액비 성장분석결과

채취일자	MC (%, w.b. ¹)	VS (%, d.b. ²)	pH	EC (μ S/cm)	Total N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
17.09.30.	98.7	40.4	8.6	14.2	1175.8	918.2	212.1
17.10.16.	98.7	39.8	8.2	11.6	1199.9	216.3	918.2
18.02.27.	98.7	39.2	8.2	12.9	2994.1	1941.0	224.0
18.04.09.	97.0	55.0	8.3	28.8	3673.3	2528.9	114.9
18.05.11.	96.5	59.6	8.6	27.4	3789.4	2408.4	304.5
18.06.12.	97.6	56.9	9.0	26.0	2901.3	1871.8	240.0
18.06.27.	97.8	47.6	7.9	25.3	4238.7	2273.4	279.2
18.07.24	98.5	38.5	7.7	23.3	3579.0	1855.1	406.7
18.09.12.	98.5	36.3	7.5	22.1	1538.5	592.9	459.1

¹ wet basis; ² dry basis

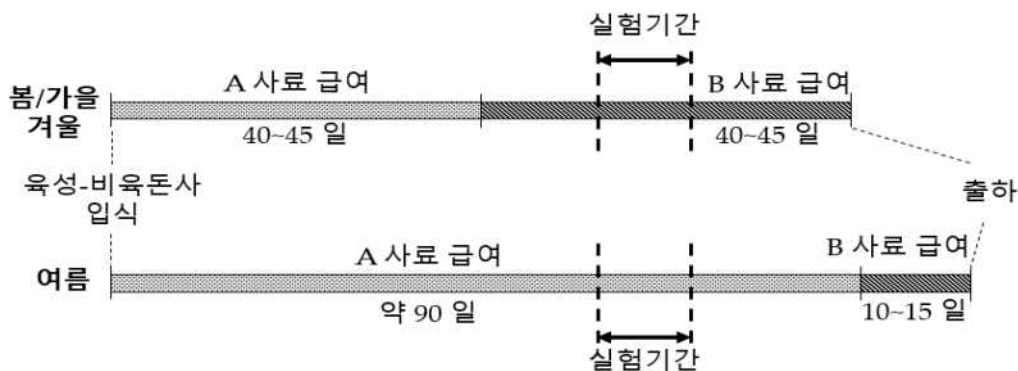
- 사료급여 프로그램이 돼지의 계절별 NH₃, H₂S 배출량에 미치는 영향
 - 본 연구를 수행한 양돈농가에서는 육성-비육돈의 성장단계에 따라 2가지 사료(A, B)를 급여하는 단계사양을 실시하고 있었음. 사료성분 분석결과, 비육초기 돼지를 위한 A사료의 조단백질 함량은 18.36%로 비육후기사료인 B에 비해 조단백질 함량이 0.88%-point 높았음<표 78>.
 - 육성-비육돈사에 입식한 비육초기의 돼지들은 80~90일간의 사육 후 체중 약 115kg에서 출하됨. 봄/가을, 겨울에 입식한 돼지들은 초기 40~45일간 비육초기사료인 A 사료 급여 후 40~45일의 기간 동안 B사료 급여하는 것을 기본으로 함. 그러나 여름에 입식한 돼지들에 대해서는 고온스트레스를 줄여주기 위해 고단백인 A 사료를 약 90일간 급여 후, 출하 전 10~15일의 짧은 기간 동안만 B사료를 급여함<그림 50>.
 - 사료 성분은 돼지의 질소 배설 및 분뇨로부터 배출되는 NH₃ 양에 직접적으로 관여하며, 특히 Powers et al.(2007)은 양돈사료의 조단백질 함량이 사료 내 1%-point 높아질 때마다 암모니아 배출량은 약 30% 증가한다고 보고하였음.

- 본 연구의 육성-비육돈의 계절별 가스배출량 산정에 있어 같은 사육단계이더라도 여름에는 봄/가을, 겨울과 비교 시 고단백질의 사료가 급여되었음<그림 50>. 이는 여름철 돈분뇨의 질소 함량을 증가시켜 결과적으로 NH₃ 배출량을 증가시켰으며, 여름철 높은 질소함량의 미부숙 액비가 생성되는 것에도 영향을 미쳤다고 판단됨<표 78>.

<표 78> 사료 일반성분 분석결과

사료 종류	조단백질(% , d.b. ¹)	조지방(% , d.b.)	조섬유(% , d.b.)
A 사료	18.36	5.16	2.69
B 사료	17.48	5.75	2.91

¹ dry basis



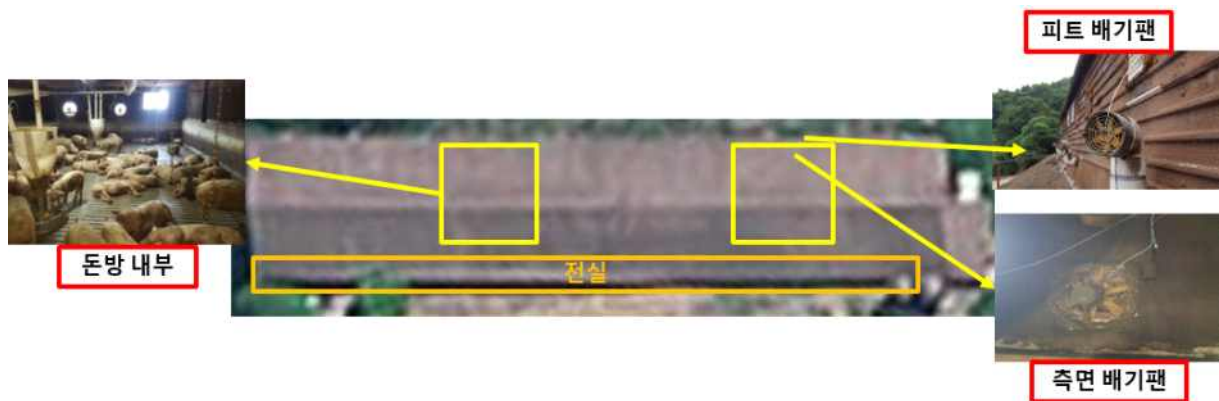
<그림 50> A 양돈농가의 사료급여 프로그램

2) 전실을 통한 입기, 측벽+피트배기 시스템을 갖춘 돈사에서 사육된 육성돈의 NH₃, H₂S 배출계수 산정

- 본 연구에서 선정한 청양 소재 B 양돈농가는 일관사육농가로, 그 중 측정대상이 된 축사는 30kg대에 입식하여 60kg의 비육초기가 될 때까지 사육하는 육성돈사였음. 60kg의 비육초기 돼지들은 육성돈사 이후 같은 농장 내에 있는 비육돈사로 옮겨져 출하 전까지 사육됨. B 농가의 육성돈사는 전실(前室)을 통해 외부 공기가 돈방 내로 들어오고, 측벽배기팬과 피트배기팬을 가동하여 돈방 내 온도 조절 및 공기 질을 유지하고 있었음.
- 본 연구에서는 악취발생 정밀평가시스템(자동악취측정장치)를 이용하여 전실입기/측벽+피트배기 시스템을 갖춘 돈사에서 사육되는 육성돈이 배출하는 NH₃ 배출량을 산정하였음. 또한 전실입기가 NH₃ 배출특성에 미치는 영향을 평가하였음.

<표 79> B 양돈농가 육성돈사 특성

특성	비고
돈사 및 사육유형	무창 육성돈사
사육단계	30~60 kg/head 육성돈
사육밀도	약 0.72 m ² /head (돼지 168~170 두를 121 m ² 면적의 돈방에서 사육)
바닥 및 피트 특성	전면 슬랏, 피트 깊이 1.2 m
입기방식	전실입기(Φ 300 mm 2기)
배기방식	측벽배기(돈방 당 Φ 500 mm 2기, Φ 600 mm 1기); 피트배기(Φ 300 mm 2기)
분뇨수거방식	슬러리피트 시스템



<그림 51> B 양돈농가 육성돈사 특성

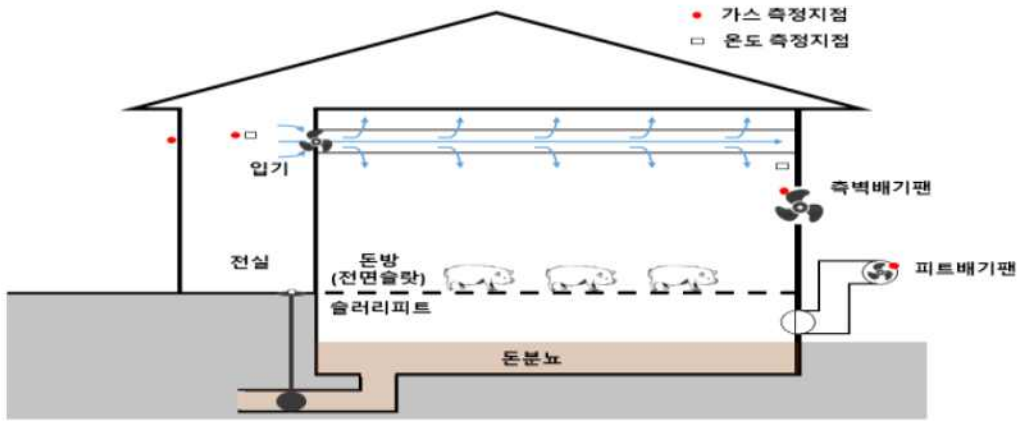
○ 연구수행 방법

- 본 연구기관에서 개발한 on-site 자동악취측정장치를 이용하여 육성돈사의 2개 돈방을 대상으로 각 돈방의 NH₃와 H₂S 농도, 온도, 환기량을 측정하고 원격에서 모니터링함. 측정값은 식 1 을 통해 가스배출량 산정에 이용함.
- 현장 방문 조사 및 축사 내 작업자의 협조를 얻어 악취물질 배출량과 관련이 있는 사육두수, 돼지 입식·출하일자, 분뇨 저장기간, 청소일자 등의 자료를 수집함.
- 정기적으로 실험현장을 방문하여 표준가스로 자동악취측정장치 내 NH₃ 센서 검교정, 온도 센서 교체를 실시함.

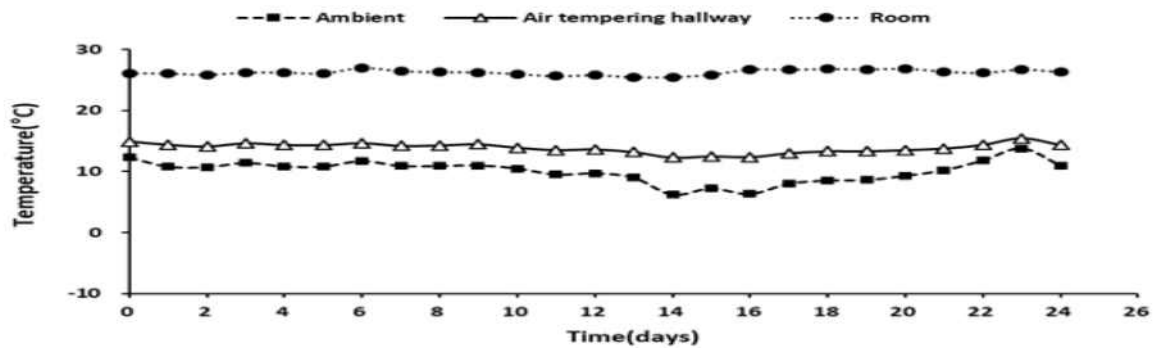
○ 연구수행 결과

- 전실(前室)입기가 육성돈(30~60kg)의 NH₃ 배출량에 미치는 영향
 - 본 연구를 수행한 B 양돈농가의 육성돈사는 전실의 팬을 통해 돈방에 외부공기가 들어가는 구조로<그림 52 a>, 가을과 겨울에는 낮은 온도의 외부공기가 돈방으로 입기되기 전에 적정수준으로 가열되는 효과가 있었음<그림 52b, c>. 이로 인해 가을과 겨울의 환기량은 MWPS (MidWest Plan Service)에서 권장하는 계절별 적정 환기량보다 높은 경향을 나타냄<그림 53>.

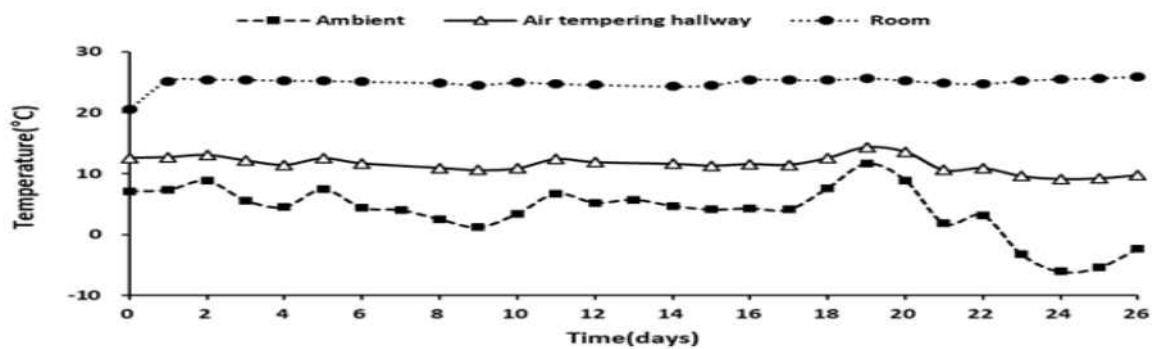
· 외기온이 돈방의 환기량에 직접적인 영향을 미치지 않는 특성을 보임<그림 52>. 전실입기 시스템을 갖춘 돈사에서 육성돈 사육 시 가을철과 겨울철의 환기량은 각각 60.5 ± 3.7 , $52.1 \pm 6.1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{head}$ 로, A 양돈농가(별도 전실 없는 천장입기)의 계절별 육성돈 환기량 (가을: 40.8 ± 9.2 , 겨울: $21.9 \pm 0.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{head}$)과 비교 시 계절간 차이가 크지 않았음. 두당 일일 NH_3 배출량 또한 가을 17.0 ± 3.3 , 겨울 $17.6 \pm 3.1 \text{ g}$ 으로 계절 간 큰 차이를 보이지 않음.



(a) 돈사구조 모식도

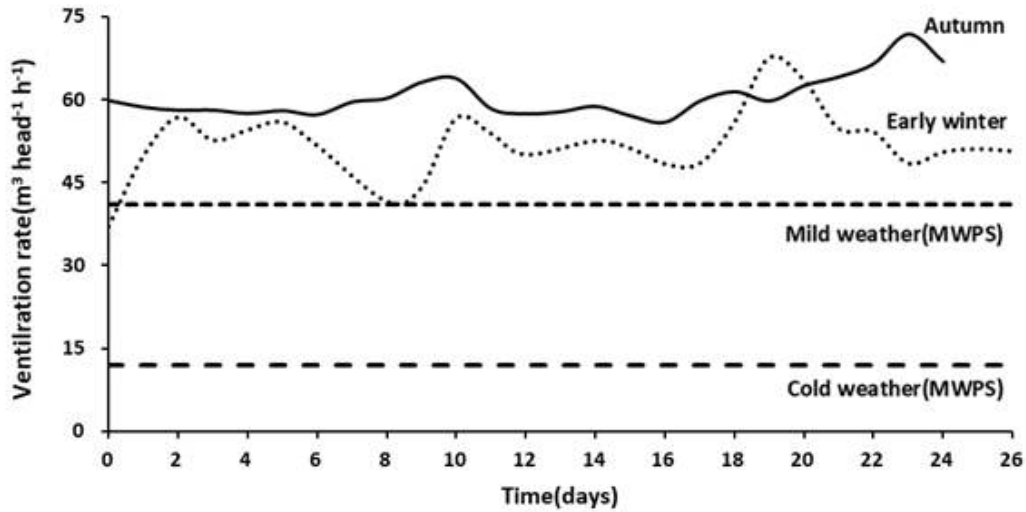


(b) 가을철 외기온과 전실 온도의 변화



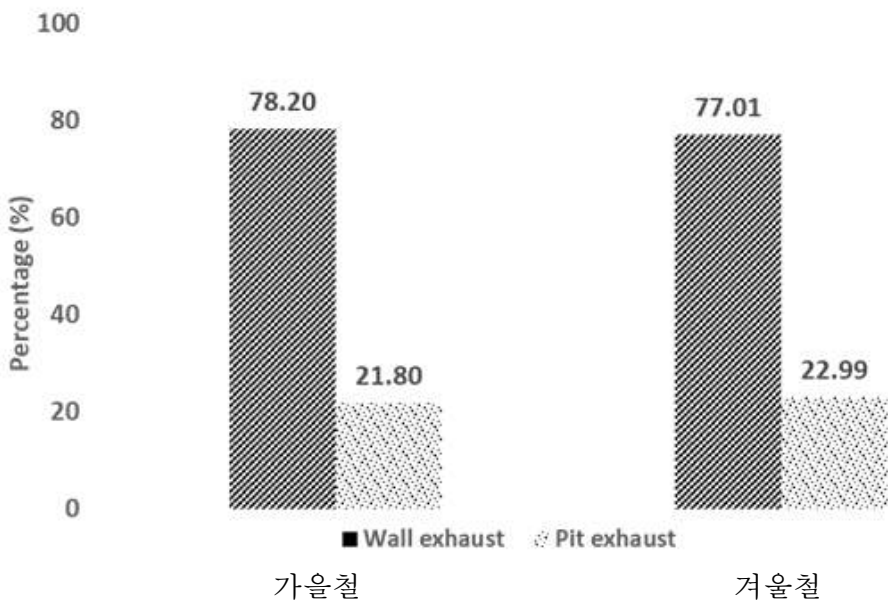
(c) 겨울철 외기온과 전실 온도의 변화

<그림 52> 전실입기/피트배기시스템의 돈사 구조 및 계절별 외기온과 전실온도의 변화



<그림 53> MWPS 권장 계절별 환기량과 B 양돈농가 육성돈사의 환기량

- 피트배기가 육성돈(30~60kg)의 NH₃ 배출량에 미치는 영향
 - 가을과 겨울 육성돈의 일일 두당 NH₃ 배출량에 측벽배기와 피트배기가 기여하는 정도는 각각 77.6%, 22.4%로 측벽배기팬으로 배출되는 NH₃가 피트배기팬에서 배출되는 것에 비해 약 3.5배 많았음<그림 54>.



<그림 54> 계절별 육성돈의 NH₃ 배출량에 측벽배기와 피트배기가 기여하는 정도

3) 피트를 통한 입기, 천장배기 시스템을 갖춘 축사에서 사육된 비육돈의 NH₃, H₂S 배출 계수 산정

- 본 연구에서는 청양 소재 B 양돈농가에서 육성기 사육이 완료된 60kg대 비육돈을 사육하는 축사를 측정대상으로 하였음. 이 비육돈사에서 60kg의 비육초기 돼지들은 출하(115kg) 전까지 사육됨. B 농가의 비육돈사는 피트를 통한 입기시스템을 갖추고 있었으며, 배기를 위해 천장 배기팬을 가동 중이었음.
- 본 연구는 악취발생 정밀평가시스템(자동악취측정장치)을 이용하여 비육초기 ~ 출하 전까지 NH₃와 H₂S 배출량을 돼지의 계절적 요인을 반영하여 산정하였음. 또한 전실을 통한 입기가 돈방의 환기량과 비육돈의 가스 배출량에 미치는 영향을 평가하였음.

<표 80> B 양돈농가 비육돈사 특성

특성	비고
돈사 및 사육유형	무창 비육돈사
사육단계	60~115 kg/head 비육돈
사육밀도	약 0.65 m ² /head (돼지 약 180두를 193 m ² 면적의 돈방에서 사육)
바닥 및 피트 특성	전면 슬랏, 피트 깊이 1.2 m
입기방식	피트입기
배기방식	천장배기(돈방 당 Φ 500 mm 4기)
분뇨수거방식	슬러리피트 시스템

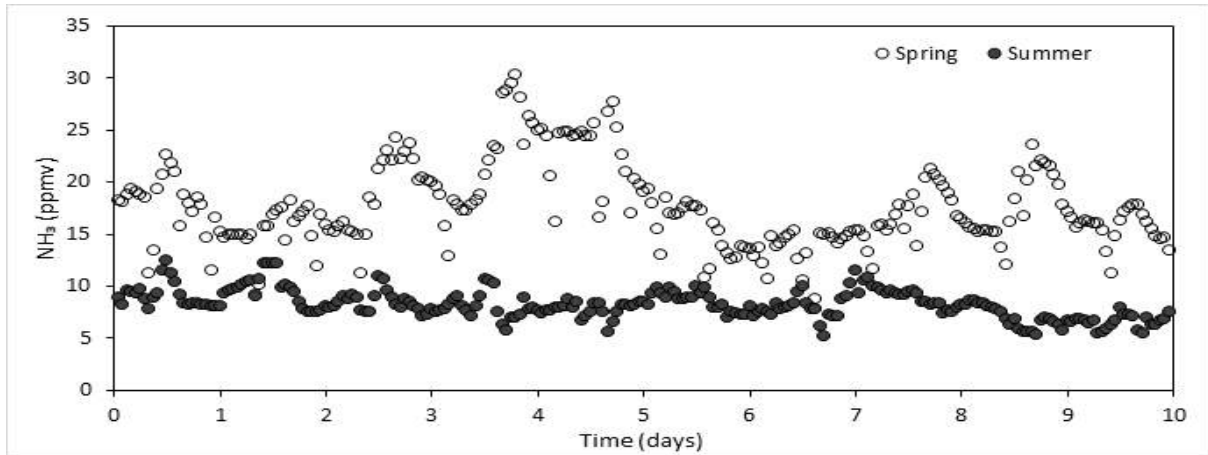


<그림 55> B 양돈농가 비육돈사 특성

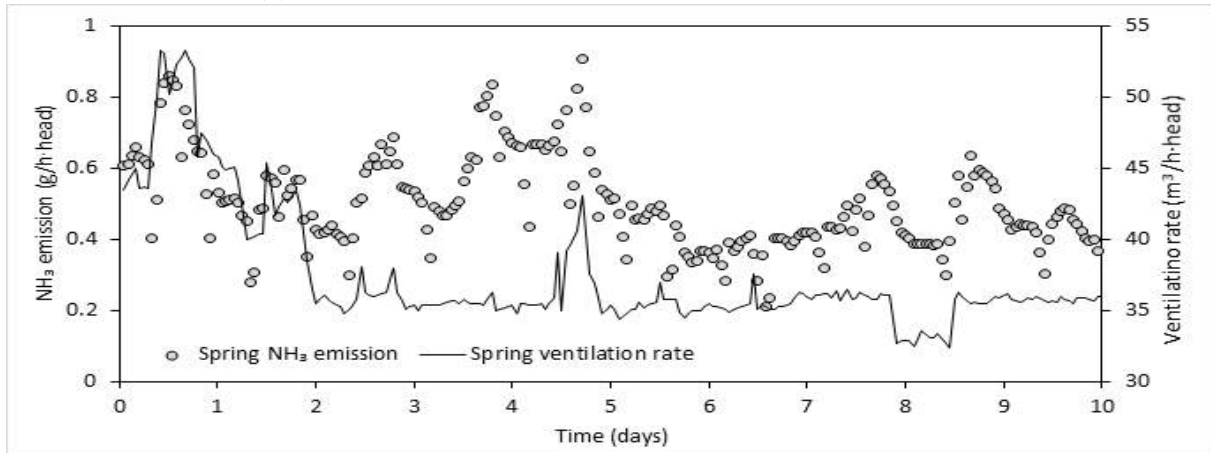
○ 연구수행 결과

- 피트입기/천장배기 시스템에서 사육된 비육돈(80~115kg)의 계절별 NH₃ 배출 특성
 - 피트입기/천장배기 시스템을 갖춘 비육돈방의 암모니아 농도는 봄/가을에 7.9 ~ 30.3 ppmv, 여름에 5.2~12.4 ppmv의 범위를 보였으며, 10일간의 모니터링을 통해 평균 암모니아 농도는 봄/가을과 여름에 각각 17.6 ± 4.1, 8.2 ± 1.4 ppmv 였음 <그림 56a>.

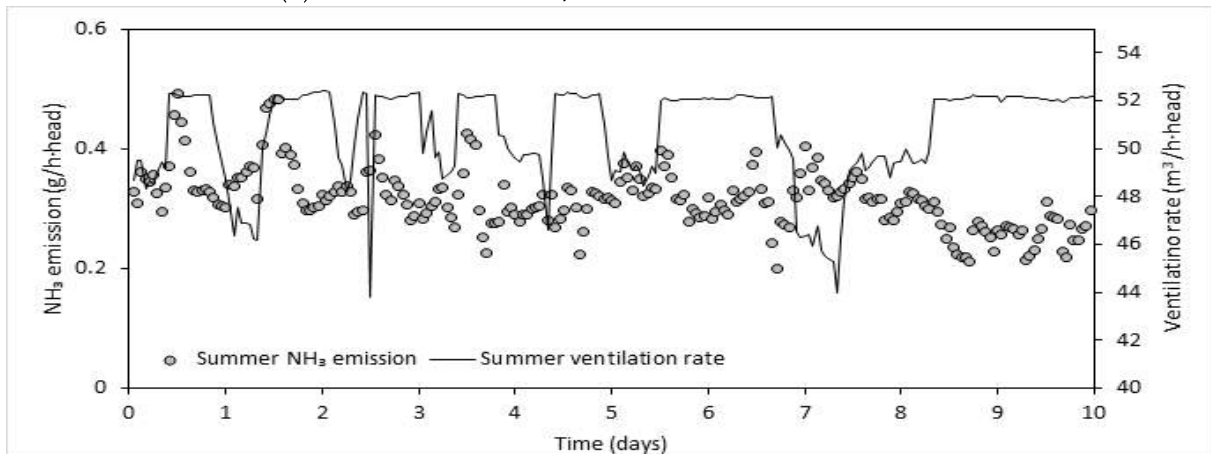
- 봄/가을과 여름에 비육돈 한 마리가 1시간에 배출하는 암모니아 가스는 각각 0.2 ~ 0.9, 0.2 ~ 0.5 g 이었으며, 일일 두당 배출량은 봄/가을 12.0 ± 2.3 , 7.6 ± 0.8 g으로 나타남 <그림 56b, c>.



(a) 비육돈 사육시 봄/가을과 여름철 NH₃ 농도 비교



(b) 비육돈 사육시 봄/가을 NH₃ 배출량과 환기량



(c) 비육돈 사육시 여름 NH₃ 배출량과 환기량

<그림 56> 피트입기/천장배기 돈사에서 사육된 비육돈(80-115kg)의 계절별 NH₃ 배출특성

바. 분뇨 처리 방법 및 단계를 고려한 실험대상지 선정 및 분뇨처리 공정별 악취물질(NH₃, H₂S) 발생특성 및 배출량 평가(분뇨처리장)

1) 분뇨처리 방법 및 단계에 따른 NH₃, H₂S 배출계수 산정

- 본 연구에서는 분뇨처리 방법 및 각 단계에서 배출되는 NH₃, H₂S 배출량을 산정하기 위해 3개 공동자원화시설을 조사하고 악취발생 정밀평가시스템(자동악취측정장치)을 설치하였음. 이후 각 분뇨처리 단계의 가스배출량을 실시간 모니터링하여 배출되는 NH₃와 H₂S 양을 산정하였음.
- 홍성 C 공동자원화시설
 - 본 연구에서 분뇨의 퇴비화, 액비화 과정 중 NH₃와 H₂S의 배출량을 산정하기 위해 모니터링한 C 공동자원화시설은 일일처리규모 90 t으로, 투입원료는 돈분과 계분이었음<표 81>.

<표 81> C 공동자원화시설 특성

특성	비고
시설 종류	가축분뇨 공동자원화시설
일일 처리 규모	90 t (퇴비 60 t, 액비 30 t)
투입원료	돈분, 계분
가스 포집량	퇴비화시설: 650 CMM 액비화시설: 250 CMM



<그림 57> C 공동자원화시설의 퇴비화 시설

- 논산 D 공동자원화시설
 - 본 연구에서 분뇨의 액비화 과정 중 배출되는 NH₃와 H₂S 양을 산정하기 위해 모니터링한 D 공동자원화시설은 일일처리규모 160 t으로, 투입원료는 돈분, 계분, 우분이었음<표 82>.

<표 82> D 공동자원화시설 특성

특성	비고
시설 종류	가축분뇨 공동자원화시설
일일 처리 규모	160 t (퇴비 40 t, 액비 120 t)
투입원료	돈분, 계분, 우분
가스 포집량	퇴비화시설: 1,080 CMM, 액비화시설: 220 CMM



(a) 액비화시설



(b) 퇴비화시설

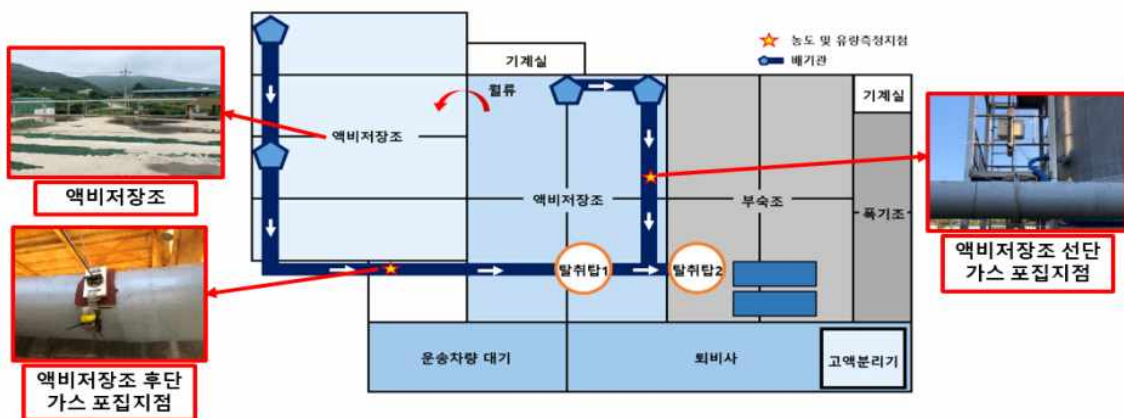
<그림 58> D 공동자원화시설의 퇴/액비화 시설

○ 세종 E 공동자원화시설

- 본 연구에서 액비저장조의 NH₃와 H₂S 배출량을 산정하기 위해 모니터링한 E 공동자원화시설은 2개의 액비저장조(선·후단)를 갖추고 있으며, 선단 저장조에서 후단 저장조로 액비가 월류되는 구조임. 각 저장조에서 액비가 저장되는 기간은 선단과 후단에서 각각 31일, 34일임 <표 83>.

<표 83> E 공동자원화시설 특성

특성	비고
시설 종류	가축분뇨 공동자원화시설
일일 처리 규모	120 t
액비 저장조 규모	선단 3,852 m ³ (0~30일 저장) 후단 4,200 m ³ (31~60일 저장)



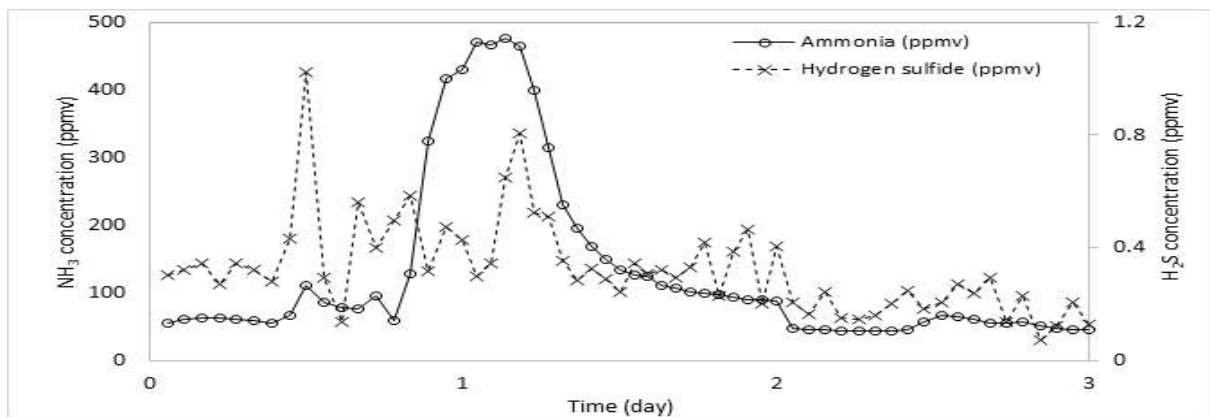
<그림 59> E 공동자원화시설 특성

○ 연구수행 방법

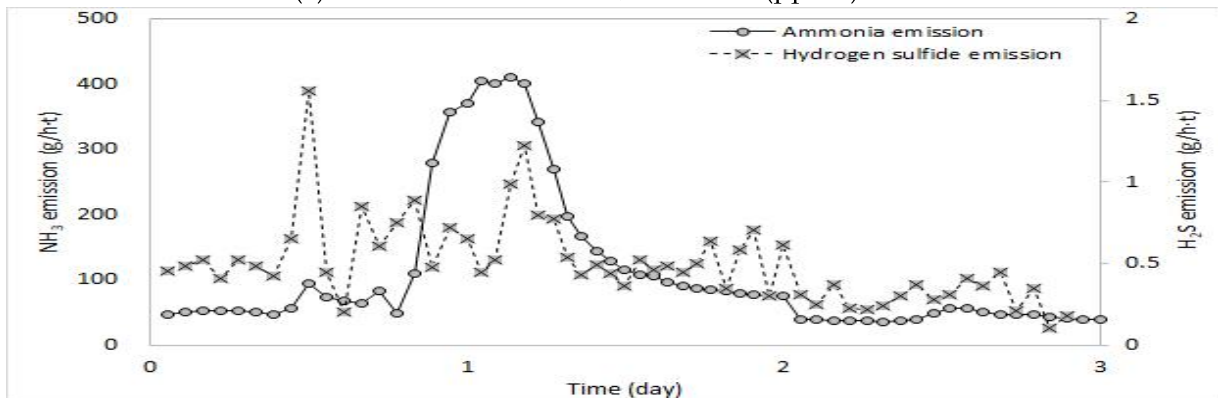
- 본 연구기관에서 개발한 on-site 자동악취측정장치를 이용하여 선단·후단 액비저장조를 대상으로 각 저장조의 headspace에서 NH₃와 H₂S 농도, 송풍량을 측정하고 원격에서 모니터링 함. 측정값은 식 1 을 통해 가스배출량 산정에 이용함.
- 현장 방문 조사 및 시설 내 작업자의 협조를 얻어 악취물질 배출량과 관련이 있는 퇴비교반 주기, 분뇨 투입/반출량, 분뇨 저장기간 등의 자료를 수집함.
- 실험현장을 방문하여 표준가스로 자동악취측정장치 내 NH₃, H₂S 센서 검교정을 실시함.

○ 연구수행 결과

- 가축분뇨 퇴비화 과정의 NH₃, H₂S 배출특성
 - 퇴비화 과정 중 배출되는 NH₃ 농도는 42.6 ~ 477.2 ppmv로 넓은 농도 범위를 보였으며, 분뇨 투입 시기와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단됨. 황화수소는 0.1 ~ 1.0 ppmv 사이에서 농도 변화를 보였으며, 퇴비화 과정에서 배출되는 암모니아와 황화수소 농도 평균은 각각 103.3 ± 66.0 , 1.9 ± 0.9 ppmv였음 <그림 60a>.
 - 퇴비화 과정 중 시간당 분뇨 1 t에서 배출되는 NH₃와 H₂S 양의 변화는 그림 에 나타남. 퇴비화시설에서 분뇨 1t의 일일 NH₃, H₂S 배출량은 각각 $1,902 \pm 907$ g/t-manure, 12.3 ± 3.7 g/t-manure 로 산정됨 <그림 60b>.



(a) 퇴비화 과정 중 NH₃, H₂S 농도(ppmv) 변화

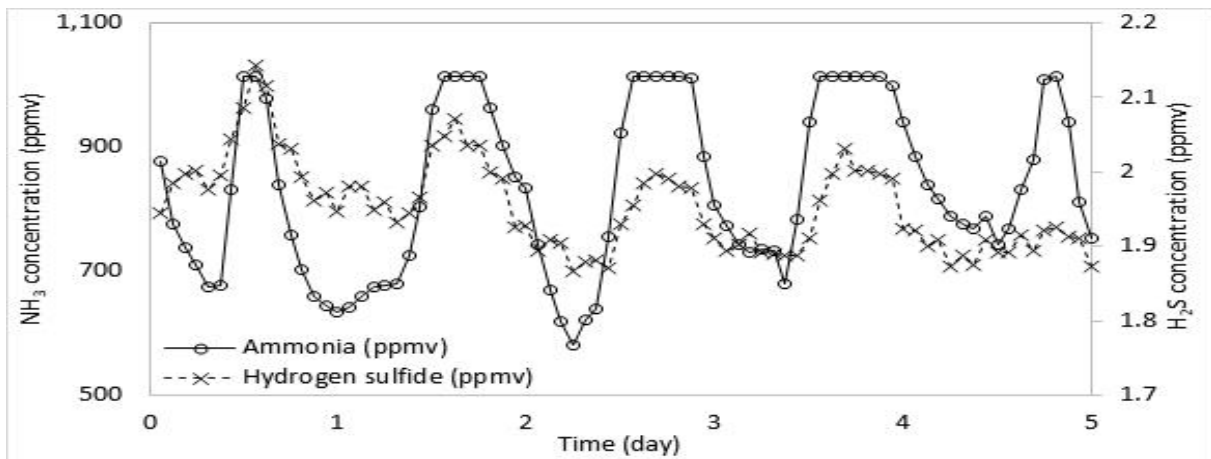


(b) 퇴비화 과정 중 분뇨 NH₃, H₂S 배출량(g/h·t) 변화

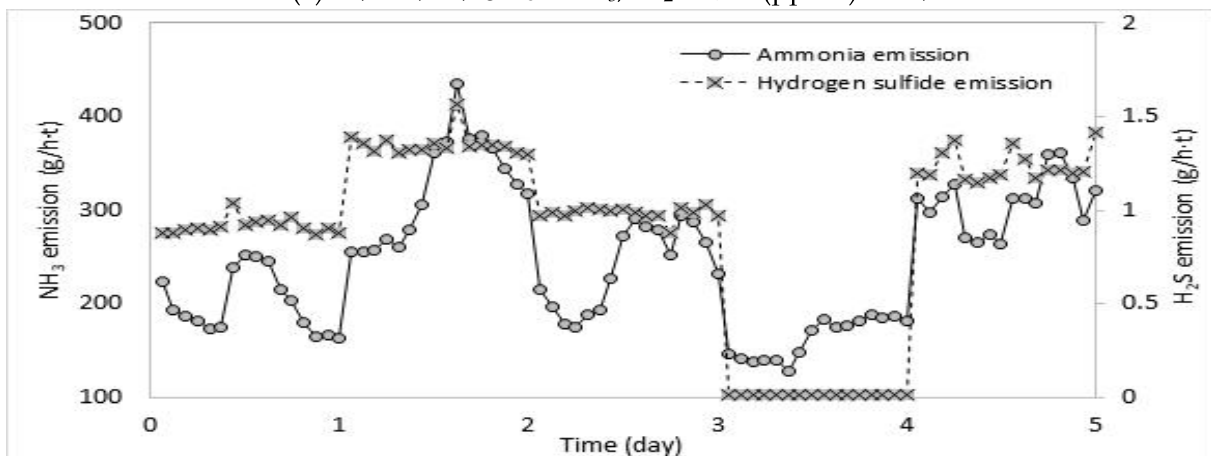
<그림 60> 퇴비화 과정의 NH₃, H₂S 배출 특성

- 가축분뇨 액비화 과정의 NH₃, H₂S 배출특성

- C, D 공동자원화시설의 액비화시설에서 배출되는 NH₃ 평균농도는 각각 835.4 ± 35.8, 814.1 ± 37.0 ppmv로 퇴비화 시설에서 배출되는 NH₃ 농도에 비해 약 21배 높은 수준을 나타내었음. H₂S 평균 농도의 경우 C 시설의 경우 2.0 ± 0.0, D 시설은 1.1 ± 0.4 ppmv 였음 <그림 61, 62>.
- 분뇨 1 t의 액비화 시 일일 NH₃ 배출량은 5.9 ~ 14.6 kg, H₂S 배출량은 24.6 ~ 47.6 g임. D 공동자원화 시설에서의 측정결과로 미루어볼 때 액비화과정에서 배출되는 NH₃는 3,422 ± 155 g/t-manure, H₂S는 8.5 ± 3.3 g/t-manure로 산정됨<그림 61, 62>.

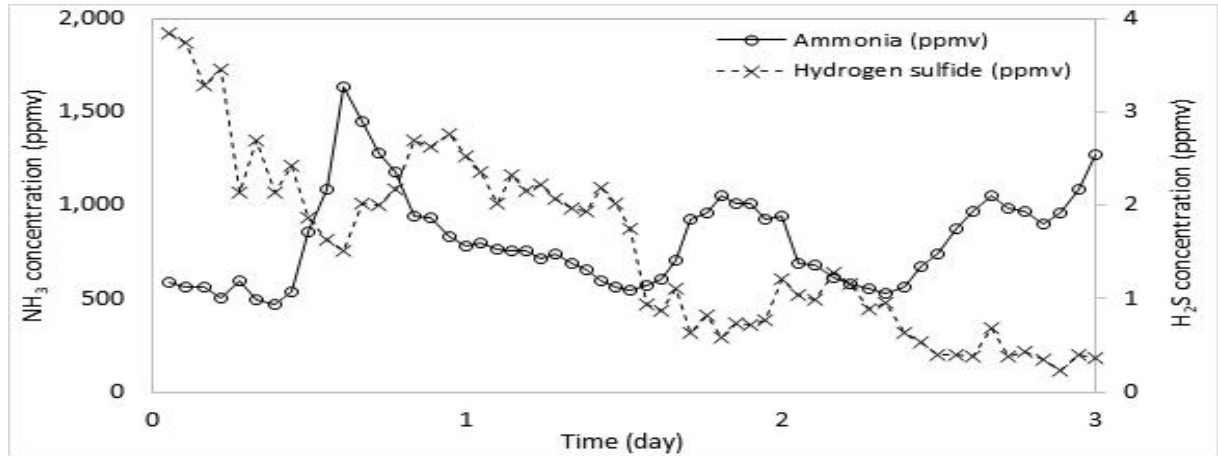


(a) 액비화 과정 중 NH₃, H₂S 농도(ppmv) 변화

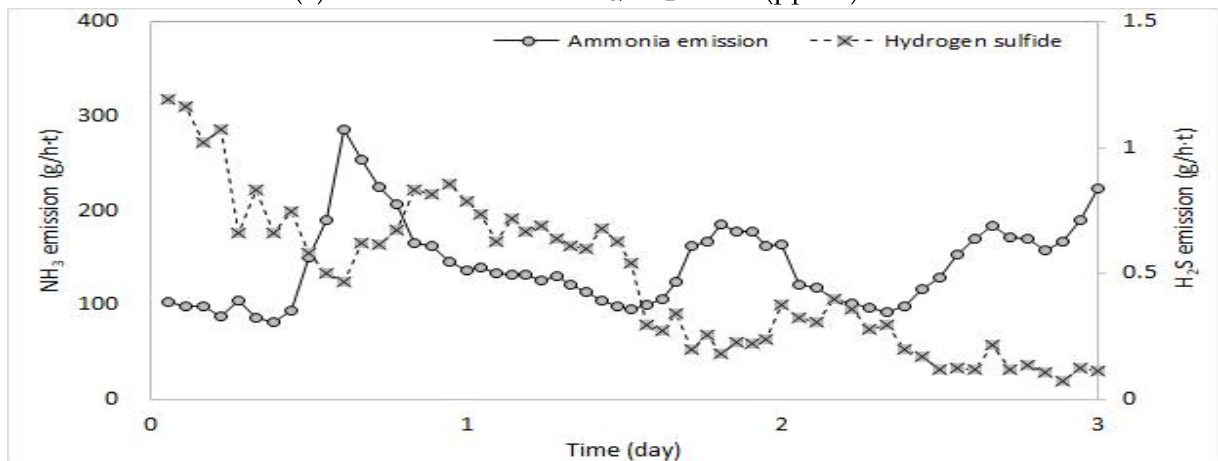


(b) 액비화 과정 중 분뇨 NH₃, H₂S 배출량(g/h·t) 변화

<그림 61> C 공동자원화시설의 액비화 과정 중 NH₃, H₂S 배출특성



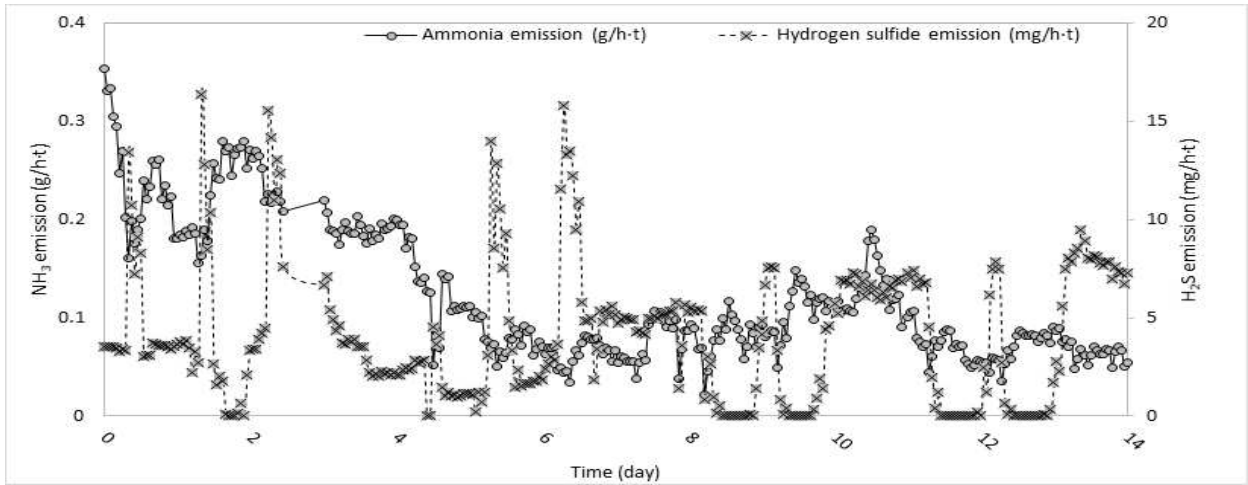
(a) 액비화 과정 중 NH₃, H₂S 농도(ppmv) 변화



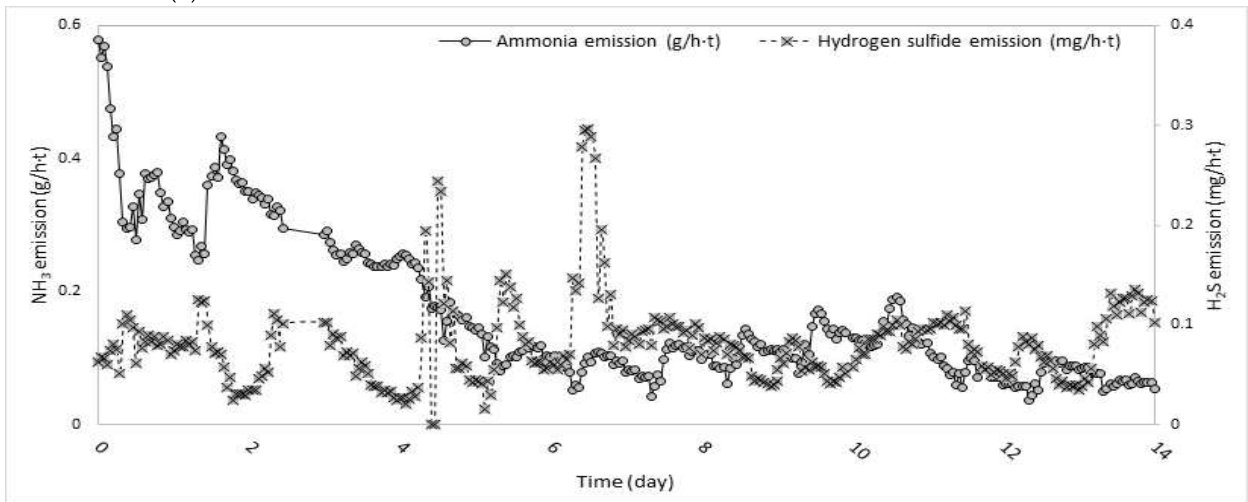
(b) 액비화 과정 중 분뇨 NH₃, H₂S 배출량(g/h·t) 변화

<그림 62> D 공동자원화시설의 액비화 과정 중 NH₃, H₂S 배출특성

- 선·후단 액비저장조의 액비 저장 시 NH₃, H₂S 배출특성
 - 선단 저장조(0~30일 저장)와 후단 저장조(31~60일 저장)의 송풍팬은 각각 69.8 ± 2.2 , 63.3 ± 2.4 CMM의 일정한 속도로 가동되었음.
 - NH₃ 농도의 경우, 선·후단 액비저장조에서 각각 22.2 ~ 369.2, 37.1 ~ 597.7 ppmv의 범위로, 후단 액비저장조에서 전반적으로 높은 농도를 보임. 선·후단 저장조의 NH₃ 평균농도는 127.9 ± 74.7 , 174.0 ± 118.6 ppmv였음. 14일간의 모니터링을 통해 산정한 액비 1t 당 평균 NH₃ 일일배출량은 선단과 후단 저장조에서 각각 44.6 ± 17.4 , 57.4 ± 26.4 mg/t·day 이었음.
 - 선단 액비저장조의 H₂S는 감지 가능한 농도(50 ppbv) 미만의 농도부터 최고 8.6 ppmv의 범위를 보였으며, 후단 저장조의 경우 최고 151 ppbv의 농도를 보여 선단 저장조에 비해 H₂S 농도가 실험기간 전체에 걸쳐 매우 낮았음(평균 농도: 선단 $2,156 \pm 1,776$, 후단 19.4 ± 6.8 ppbv). 액비 1t 저장 시 일일 H₂S 배출량은 선·후단 액비 저장조에서 각각 1135 ± 471 , 19.8 ± 2.4 mg으로 산정됨.



(a) 선단 액비저장조에서 액비 1 t 저장 시 배출되는 NH₃, H₂S 변화



(b) 후단 액비저장조에서 액비 1 t 저장 시 배출되는 NH₃, H₂S 변화

<그림 63> E 공동자원화시설의 액비 저장 중 NH₃, H₂S 배출특성

2) 육성-비육돈의 악취물질 배출계수 DB 제시

- 천장입기 및 측벽배기 시스템을 갖춘 슬러리피트 돈사에서 사육된 육성-비육돈의 성장단계별·계절별 NH₃, H₂S 배출량

성장단계		육성돈 (30-60 kg/head)	비육돈 (60-80 kg/head)	비육돈 (80-115 kg/head)	
돈사특성	돈사유형	무창 육성-비육돈사			
	분뇨수거방식	슬러리 피트			
	입기/배기방식	천장입기/측벽배기			
	사육밀도 (m ² /head)	0.76			
계절	악취물질	배출특성			
봄/가을	NH ₃	농도 (ppmv)	11.3 ± 1.1	13.1 ± 3.3	16.3 ± 5.2
		배출량 (g/head·day)	10.2 ± 1.8	13.0 ± 2.0	15.5 ± 3.5
	H ₂ S	농도 (ppmv)	0.4 ± 0.1	0.7 ± 0.1	1.0 ± 0.3
		배출량 (mg/head·day)	0.5 ± 0.2	1.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1
	환기량 (m ³ /h·head)		40.8 ± 9.2	55.2 ± 13.7	65.1 ± 7.6
	돈방 내 온도 (°C)		23.2 ± 0.4	25.4 ± 0.3	25.3 ± 0.3
여름	NH ₃	농도 (ppmv)	15.2 ± 3.9	13.2 ± 1.5	15.1 ± 0.9
		배출량 (g/head·day)	27.6 ± 6.1	24.9 ± 2.0	35.1 ± 2.2
	H ₂ S	농도 (ppmv)	0.4 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.3 ± 0.0
		배출량 (mg/head·day)	1.4 ± 0.5	1.7 ± 0.1	1.3 ± 0.1
	환기량 (m ³ /h·head)		101.1 ± 15.7	105.0 ± 15.0	125.6 ± 0.3
	돈방 내 온도 (°C)		28.1 ± 1.2	27.6 ± 1.2	32.3 ± 0.5
겨울	NH ₃	농도 (ppmv)	16.0 ± 3.6	13.6 ± 1.5	-
		배출량 (g/head·day)	6.5 ± 1.4	7.0 ± 2.0	-
	H ₂ S	농도 (ppmv)	1.3 ± 0.5	0.3 ± 0.2	-
		배출량 (mg/head·day)	1.0 ± 0.3	0.2 ± 0.2	-
	환기량 (m ³ /h·head)		21.9 ± 0.0	27.6 ± 5.8	-
	돈방 내 온도 (°C)		21.9 ± 0.6	21.9 ± 0.6	-

○ 천장입기 및 측벽배기 시스템을 갖춘 액비순환식 돈사에서 사육된 육성-비육돈의 성장단계 별·계절별 NH₃, H₂S 배출량

성장단계		육성돈 (30-60 kg/head)	비육돈 (60-80 kg/head)	비육돈 (80-115 kg/head)	
돈사특성	돈사유형	무창 육성-비육돈사			
	분뇨수거방식	액비순환시스템			
	입기/배기방식	천장입기/측벽배기			
	사육밀도 (m ² /head)	0.76			
계절	악취물질	배출특성			
봄/가을	NH ₃	농도 (ppmv)	16.5 ± 6.0	20.1 ± 7.3	14.1 ± 3.2
		배출량 (g/head·day)	12.1 ± 6.9	16.0 ± 4.6	8.5 ± 4.6
	H ₂ S	농도 (ppmv)	0.5 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
		배출량 (mg/head·day)	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.1
	환기량 (m ³ /h·head)	34.6 ± 10.6	43.5 ± 20.3	44.8 ± 6.9	
	돈방 내 온도 (°C)	21.3 ± 1.0	22.2 ± 0.7	25.2 ± 0.5	
여름	NH ₃	농도 (ppmv)	13.8 ± 0.5	15.5 ± 0.4	17.2 ± 0.6
		배출량 (g/head·day)	32.6 ± 1.4	26.1 ± 4.0	39.9 ± 1.3
	H ₂ S	농도 (ppmv)	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0
		배출량 (mg/head·day)	0.3 ± 0.0	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.2
	환기량 (m ³ /h·head)	127.7 ± 0.8	111.0 ± 17.3	125.6 ± 1.1	
	돈방 내 온도 (°C)	27.4 ± 1.8	27.8 ± 1.3	31.3 ± 0.3	
겨울	NH ₃	농도 (ppmv)	18.2 ± 6.9	20.3 ± 7.0	18.2 ± 6.8
		배출량 (g/head·day)	7.5 ± 2.9	7.9 ± 2.2	7.5 ± 2.9
	H ₂ S	농도 (ppmv)	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1
		배출량 (mg/head·day)	0.3 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	환기량 (m ³ /h·head)	22.2 ± 0.2	21.3 ± 1.3	22.2 ± 0.3	
	돈방 내 온도 (°C)	17.7 ± 3.2	18.4 ± 1.1	17.3 ± 4.1	

○ 피트, 전실을 통한 입기시스템을 갖춘 슬러리 피트 돈사에서 사육된 육성-비육돈의 성장단계별·계절별 NH₃, H₂S 배출량

성장단계		육성돈 (30-60 kg/head)	비육돈 (60-80 kg/head)	비육돈 (80-115 kg/head)	
돈사특성	돈사유형	무창 육성돈사	무창 비육돈사		
	분뇨수거방식	슬러리 피트			
	입기/배기방식	전실입기/ 측벽+피트배기	피트입기/ 천장배기	피트입기/ 천장배기	
	사육밀도 (m ² /head)	0.72	1.07	1.07	
계절	악취물질	배출특성			
봄/가을	NH ₃	농도 (ppmv)	14.9 ± 2.9	24.9 ± 1.2	17.6 ± 4.1
		배출량 (g/head·day)	17.0 ± 3.3	19.4 ± 4.6	12.0 ± 2.3
	H ₂ S	농도 (ppmv)	-	-	-
		배출량 (mg/head·day)	-	-	-
	환기량 (m ³ /h·head)	61 ± 4	42 ± 0	37.5 ± 4.4	
	돈방 내 온도 (°C)	26.3 ± 0.4	25.2 ± 0.0	23.6 ± 1.3	
여름	NH ₃	농도 (ppmv)	-	-	8.2 ± 1.4
		배출량 (g/head·day)	-	-	7.6 ± 0.8
	H ₂ S	농도 (ppmv)	-	-	0.9 ± 0.1
		배출량 (mg/head·day)	-	-	1.6 ± 0.2
	환기량 (m ³ /h·head)	-	-	50.7 ± 2.0	
	돈방 내 온도 (°C)	-	-	28.9 ± 0.7	
겨울	NH ₃	농도 (ppmv)	17.6 ± 3.3	27.4 ± 1.0	-
		배출량 (g/head·day)	17.6 ± 3.1	16.7 ± 3.7	-
	H ₂ S	농도 (ppmv)	-	-	-
		배출량 (mg/head·day)	-	-	-
	환기량 (m ³ /h·head)	52 ± 6	33 ± 1	-	
	돈방 내 온도 (°C)	24.9 ± 1.0	23.6 ± 0.6	-	

3) 분뇨처리 방법 및 단계에 따른 악취물질 배출계수 DB 제시

○ 분뇨 퇴비화, 액비화 시 일일 NH₃, H₂S 배출량

악취물질		퇴비화시설	액비화시설
NH ₃	농도 (ppmv)	103.3 ± 66.0	814.1 ± 37.0
	배출량 (g/t·day)	1,902 ± 907	3,422 ± 155
H ₂ S	농도 (ppmv)	1.9 ± 0.0	2.0 ± 0.0
	배출량 (g/t·day)	12.3 ± 3.7	8.5 ± 3.3

○ 액비 저장 시 일일 NH₃, H₂S 배출량

악취물질		액비저장조 선단 (0~30일 저장)	액비저장조 후단 (31~60일 저장)
NH ₃	농도 (ppmv)	127.9 ± 74.7	174.0 ± 118.6
	배출량 (mg/t·day)	44.6 ± 17.4	57.4 ± 26.4
H ₂ S	농도 (ppbv)	2,156 ± 1,776	19.4 ± 6.8
	배출량 (mg/t·day)	1,135 ± 471	19.8 ± 2.4

사. 자연환기 시스템이 적용된 축사의 배출계수 설정기법

1) Tracer gas 주입 및 농도 측정을 통한 NH₃ 배출계수 산정

○ Tracer gas를 축사 내에서 일정량씩 주입하는 상태에서 축사 내부에서 시료를 채취하여 tracer gas와 NH₃ 농도를 분석하는 방법임. Tracer gas로는 SF₆(6-불화 황)가 주로 이용되며, NH₃ 배출량은 아래 <식 2>를 이용하여 계산됨.

<식 2>

$$Q_{\text{NH}_3} = \frac{Q_{\text{tracer}}}{C_{\text{tracer}}} C_{\text{NH}_3}$$

Q_{tracer} = Tracer gas constant injection rate

C_{tracer} = Concentration of the tracer gas

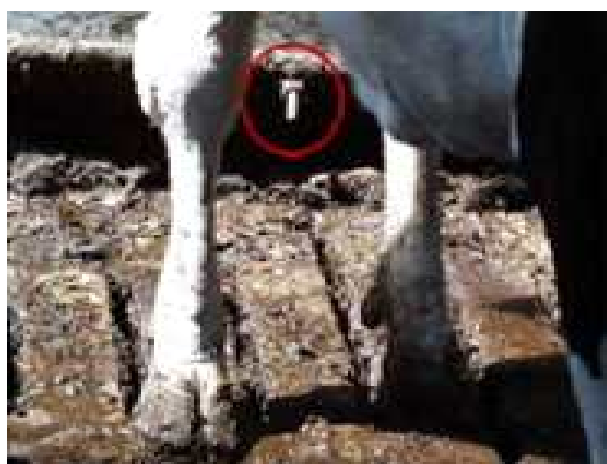
○ Tracer gas를 이용한 측정방법의 정확도를 높이기 위해서는 대표성 있는 시료 채취가 중요하다. 시료채취지점은 tracer gas 주입 장소 및 NH₃ 배출원으로부터 충분히 이격시켜 충분히

혼합된 NH₃와 tracer gas를 채취하도록 유도함. 또한 NH₃와 Tracer gas 평균농도의 대표성을 확보하기 위해 시료채취는 최소 10 m² 당 1지점에서 실시함.

○ NH₃ 농도 및 환기율의 측정 빈도를 높일 경우 tracer gas를 이용하는 본 방법을 통해 신뢰도 및 정확도가 높은 NH₃ 배출계수 산정이 가능하다는 장점이 있음.

○ 주의사항

- 사용 장비의 정기적(주 1회) 검·교정(calibration)이 필요함.
- NH₃는 물에 용해도가 높은 기체이므로 시료를 채취하는 tube 내 응축수가 생길 경우 응축수에 NH₃가 용해되어 측정값의 정확도를 저감시킬 수 있음. 따라서 시료 채취 tube에 응축수가 생기지 않도록 tube를 가온시키는 것이 권장됨.
- Tracer gas가 축사 내에서 배출되는 NH₃의 이동을 모사할 수 있도록 <그림 64a>와 같이 축사 내 NH₃가 주로 발생하는 지점과 인접한 곳에서 주입되는 것이 바람직함. 또한 축사 내에서 배출되는 NH₃ 가스와 인위적으로 주입된 tracer gas의 확산이 유사하게 일어나도록 유도하고, tracer gas의 주입장소 및 NH₃ 발생장소로부터 충분히 이격된 지점에서 시료를 채취함. <그림 64b>와 같이 시료채취지점이 충분히 이격되어 있을 경우 NH₃와 tracer gas의 축사 내 체류시간을 증가시키는 효과가 있음.



(a) Tracer gas 주입 시스템



(b) Tracer gas와 NH₃ 시료채취튜브

<그림 64> Tracer gas 주입 및 농도 측정용 시료 채취 라인

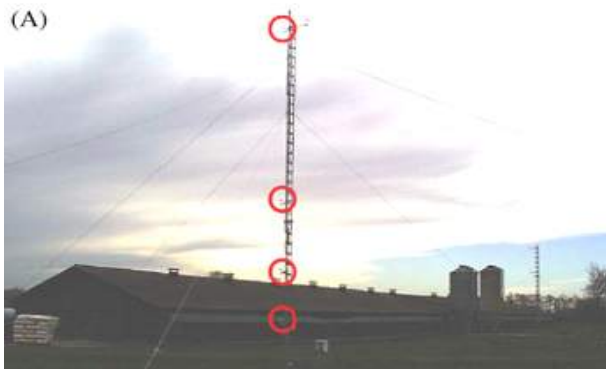
○ 축사 내에서 tracer gas와 NH₃가 충분히 혼합되지 못하는 축사의 경우 NH₃ 배출량은 축사 외부에서 측정하는 것이 바람직함. 자연환기방식이 적용된 축사의 외부에서 NH₃ 배출량 측정 시 지엽적으로 NH₃ deposition이 일어나면 배출량은 과소평가 될 수 있으므로 축사로부터 충분한 이격거리를 유지한 상태에서 NH₃ 농도를 측정하는 것이 좋음.

2) Flux frame method를 이용한 NH₃ 배출계수 산정

○ 다수의 풍속계, passive diffusion samplers, passive flux samplers 또는 plume

measurements, NH₃ 측정 센서 등을 이용하여 Flux frame method에 의한 NH₃ 배출량 측정이 가능함.

- Flux frame method는 <그림 65>와 같이 NH₃ 배출원으로부터 역풍방향과 수직이 되는 평면과 NH₃ 배출원으로부터 순풍방향과 수직이 되는 평면을 통해 수평적으로 유동(flux)하는 NH₃의 농도를 비교하는 방법임. 역풍방향과 순풍방향에서 측정한 암모니아 농도의 차이는 실제 배출된 암모니아 농도를 의미하며, 아래 <식 3>에 의해 계산이 가능함.



(a) Flux frame method



(b) Passive sampling techniques;
WB = passive diffusion sampler;
PFS = passive flux samplers

<그림 65> Flux frame method와 passive sampling techniques

<식 3>

$$Q = \sum \left(z \sum d \cdot \bar{u} (C_{\text{down}} - C_{\text{up}}) \right)$$

Q = Source strength ($\mu\text{g s}^{-1}$)

$C_{\text{up}}, C_{\text{down}}$ = Average concentration on the upwind and downwind side ($\mu\text{g m}^{-3}$)

z = Height of the plane for which the measured concentration was representative (m)

d = Distance between two adjacent masts (m)

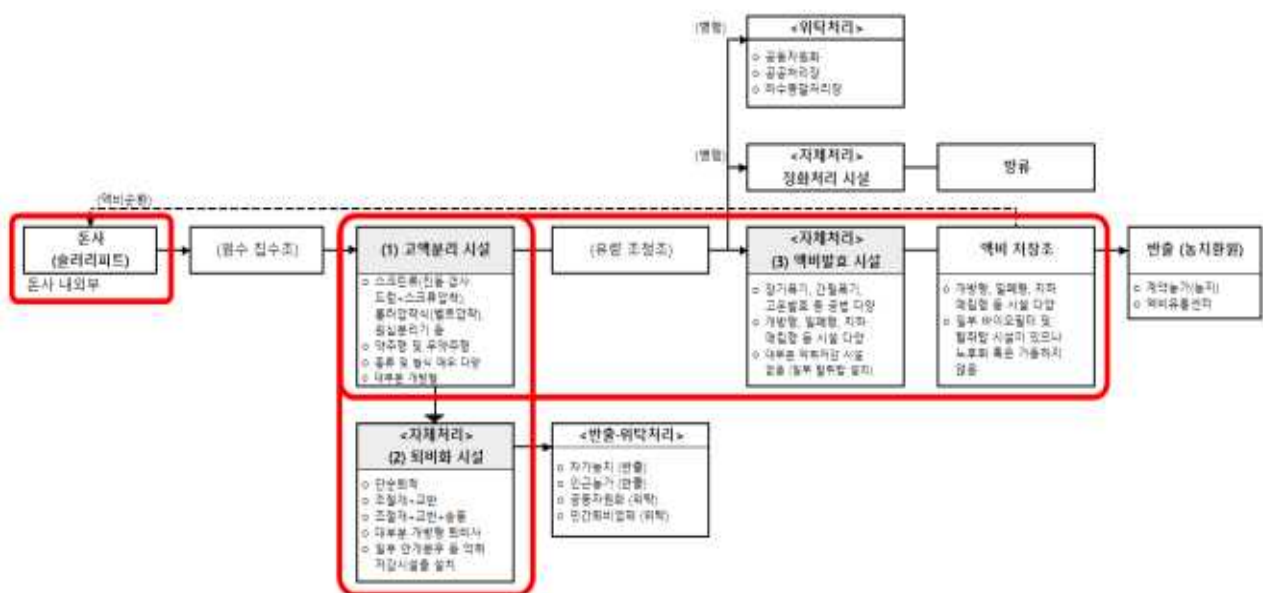
- Flux frame method는 측사와 관측대의 이격거리를 적절히 유지하는 것이 중요함. 측사와 관측대가 너무 가까울 경우 건물에 의해 공기 흐름이 변형되는 문제가 발생하며, 관측대가 측사로부터 25~50m이상 떨어진 원거리에 위치할 경우 plume이 빠른 속도로 분산되어 실제보다 낮은 암모니아 농도가 측정되어 정확도가 낮아짐.
- Flux frame method의 정확도를 높이기 위해서는 관측대를 충분히 높게 설치하여 측사에서 배출된 암모니아와 plume 모두를 고려할 수 있도록 해야 함.

2.3. 가축분뇨 자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감기술 개발

가. 양돈농가의 분뇨처리시설의 주요 악취 발생원

1) 양돈농가의 분뇨처리 흐름 및 악취 발생원

- 돈사에서 발생하는 분뇨처리는 크게 자가처리(농가단위)와 위탁처리(공동자원화시설 등)로 나뉘며, 농가환경 및 지역적 특성에 따라 이를 병행하기도 함.
- 고액분리 후 고형물은 ①단순퇴적 또는 교반, ②수분조절제+교반, ③수분조절제+교반+송풍 등 일부 퇴비화 과정을 거쳐 반제품형태의 무상제공(인근농가, 민간업체, 자원화시설 등)이 대부분임.
- 고액분리 후 액상물은 ①단순저장-위탁처리 ②액비화조-저장조-살포(계약농가 살포위탁), ③액비화조-저장조-중간자원화조직체(공동자원화시설), ④정화처리 등으로 나뉨. 일부농가에서는 부숙된 액비를 돈사내로 순환하거나(액비돈사순환시스템) 농가환경 및 지역특성에 따라 각 방법을 병행하기도 함.
- 악취관리의 기본은 밀폐, 포집, 처리이나 농가단위의 분뇨처리시설은 대부분이 개방식이므로 관리에 큰 어려움이 있음. 따라서 돈사에서 분뇨가 발생한 후 분뇨처리의 모든 공정이 악취 발생원으로 작용하나 특히 주요 악취발생원은 ①고액분리시설(집수 및 이송라인 포함), ②퇴비화시설, ③액비화시설(액비저장시설 포함)로 구분할 수 있음. 농가단위 분뇨처리장의 악취관리는 기본적으로 분뇨발생단계에서부터 관리하여 악취발생을 최소화시킨 후 농가별 환경조건과 지역적 특성에 맞게 악취저감 기술이 적용되어야 함.



<그림 66> 양돈농가의 일반적인 분뇨처리의 흐름과 주요 악취 발생원

<표 84> 양돈농가의 악취발생원별 고려사항

구분	항목	세부사항	
돈사	운영현황	- 일관운영 등	
	돈사형식 및 구조	- 무창돈사 등, 바닥구조 등	
	사육환경	- 내부온도 등	
	운영방식	- 피트내 분뇨제거주기 등	
	사료성상	- 소화율 등	
분뇨 처리 공정	분뇨 집수 조	시설구조 및 방식	- 밀폐 여부, 밀폐 시 별도의 냄새저감장치 운영 등
		운영방식	- 단순저장, 교반 및 폭기운영 여부
		유입방식	- 저류기간, 침전물 퇴적상태, 발효제 및 첨가제 혼합 여부
	고액 분리	시설구조	- 밀폐 여부, 밀폐 시 별도의 냄새저감장치 운영 등
		고액분리방식	- 고액분리방법, 분리효율 등
		운영방식	- 운영기간 및 시간 등
	액비 화시 설	시설구조 및 방식	- 밀폐 여부, 밀폐 시 별도의 냄새저감장치 운영 등
		운영방식	- 운영시간 등
		유입방식	- 이송배관 등
	퇴비 화시 설	시설구조 및 상태	- 밀폐 여부, 밀폐 시 별도의 냄새저감장치 운영 등
		퇴비화공법	- 발효방법 등
		운영상태	- 함수율상태 등
기타	사체처리방식	- 산처리방식 등	
	청결상태	- 반출통로 등	
	탈취설비	- 설치여부 등	
	분뇨 운반과정	- 퇴비, 액상물(분뇨, 액비) 반출시 노출상태, 수거차량 세척	
	주변환경	- 돈사의 지형적 위치 및 환경, 민원지역과의 거리	

자료) 광정훈(2016) 축산냄새 저감 기술. 2016년 한국동물자원과학회 춘계심포지엄 발표자료

2) 분뇨 집수조, 유량조정조 및 분뇨 이송관리

- 양돈분뇨의 배출 특성은 축사의 종류, 구조, 축사 청소방법, 세척수량, 소독 및 급수시설 등에 따라 매우 상이하며, 특히 돈사에서 분뇨 분리 유무에 따른 특성은 분뇨처리방법 채택에 있어서 매우 중요함. 일반적으로 모든 또는 자돈사에서 분뇨수거시설은 스크래퍼형인 경우가 많으며, 육성 및 비육돈의 경우는 슬러리형태가 대부분임. 슬러리형 돈사에서는 청소수와 함께 고액분리가 되지 않은 슬러리 상태의 분뇨가 피트(pit)를 통해 배출하게 됨.
- 노후화된 돈사는 피트 슬러리가 월류하여 집수조로 넘어가는 형식이 많으며, 이 경우 상시 90%이상 분뇨가 채워져 있음. 평상시 돈방에 돼지가 있을 경우는 살수 세척 등을 하기 어려운 상황이며, 구조상 슬러리피트 청소자체 거의 불가능한 상황(고수위로 적체)임.
 - 집수조로 넘어가는 이동관로의 일부가 개방되어 있을 경우 냄새발생의 주원인이 되며, 추가적으로 빗물 등의 유입문제로 냄새발생이 더욱 심하게 발생함.



(개방된 분뇨 이송라인)

(개방된 분뇨 이송라인에 빗물이 모인 모습)

<그림 67> 돈사 슬러리피트 배출구 및 개방된 분뇨 이송 배관 사례

- 집수조(또는 고액분리 후 유량조정조)는 고액분리기와 연계되어 있는 경우가 대부분이므로, 보통 퇴비사 내부 또는 근거리에 위치하고 있음. 집수조는 보통 지하 저장식 콘크리트 구조물로서 대부분 상부가 개방된 상태로 단순 저장하거나, 하부에 침전물이 쌓이지 않게 간헐적 폭기운동을 하고 있음.
- 단, 개방된 집수조는 그 자체로도 주요 악취발생원으로 작용함. 집수조에 분뇨가 투입된 뒤 별도의 조치 없이 단순 저장 할 경우 액상물 상부에 유막층이 형성되어 악취가스의 발생이 억제될 수 있으나, 집수조의 하부 침전물 방지를 위하여 폭기 할 경우 순간적으로 고농도의 악취가스가 발생할 우려가 있음<표 85>.
- 따라서, 단기적 방편으로는 조의 상부를 차광막 등으로 덮어주어 냄새의 확산을 방지하고, 시각적인 냄새를 차단함. 장기적으로는 시설의 개보수를 통하여 밀폐화 및 음압포집 후 적절한 냄새저감 방법과 시설로 악취 발생을 최소화하여야 함.

<표 85> 개방형 집수조의 폭기 전과 후 암모니아 및 황화수소 발생 비교 사례

사육규모(형태)	집수조 용량	집수조 폭기 전		집수조 폭기 후	
		NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)
2,700두 (일관)	80 m ³	0	0	150*	150*

* 측정한계 초과

주1) 다항목가스측정기(SKY2000-M4) 및 온습도·풍속 센서(Kestrel Environmental Meter) 이용

주2) 측정 당시 온습도 및 풍속: 온도 20.1℃, 습도 77.7%, 풍속 0.4m/s

자료) 상지대학교(2019)



(개방된 분뇨 집수조)



(개방된 분뇨 집수조 폭기)

<그림 68> 양돈농가의 개방된 분뇨 집수조 사례



(밀폐화된 분뇨 집수조)

<그림 69> 양돈농가의 밀폐화된 분뇨 집수조 사례

3) 고액분리 시설

- 일반적으로 고액분리라 함은 폐수 내에 여러 형태로 존재하고 있는 고형물을 액체로부터 분리하는 것을 의미함. 축산농가에서 분뇨를 처리함에 있어 가장 기초적인 설비인 고액분리기는 분뇨 내 다량의 부유물질과(SS) 및 혐잡물을 제거하여 후속 공정을 원활히 하는 것에 그 목적이 있음. 분과 뇨 및 세척수가 혼합된 고농도 유기성의 분뇨 슬러리는 밀도와 점도가 높을 뿐만 아니라 입자상의 고형물로 인해 생물학적 공법 등을 동원하여 높은 처리효율

로 유도하기 위해서는 전처리 공정으로 고액분리가 필수적으로 운영되어야 함.







- 양돈분뇨를 처리하기 위한 기술로는 퇴비화, 액비화, 정화처리 공정이 주로 이용되고 있음. 슬러리 상태의 고농도 양돈분뇨는 물리적 전처리 공정인 고액분리과정에서 효과적으로 고형물이 제거(분리)되어질 때 후처리 부하를 줄일 수 있기 때문에 시설의 규모 감소 뿐 만 아니라 퇴·액비화 및 정화처리 과정에서 발생하는 이익으로 시설비와 운영비를 절감할 수 있음.
- 또한 고액분리기의 탈수능력에 따른 고형분의 함수율은 퇴비화 시 톱밥 및 왕겨 등 수분조절제의 사용량을 결정하며, 균질한 처리수를 배출함으로써 액비화 및 정화처리의 유입 부하(농도)를 설계하는 주요 척도가 됨.
- 양돈농가에서 사용하는 고액분리기(기계적 고액분리)는 대부분 ①스크린방식(진동스크린, 경사스크린, 드럼스크린), ②압착방식(롤러, 벨트 및 스크류), ③상기 중 2가지 이상의 기술이 결합된 형태, ④원심분리방식(데칸타 등)이 이용되고 있음.

<표 86> 국내 대표 고액분리기의 형식 및 분류

업체	규격	구분	업체	규격	구분
00	8~20 ton/hr	진동식, 스크류식 (혼합형)	00	5~20 ton	경사스크린(스크류압착식)
	3~8 ton/hr	스크류식		20 ton	스크류진동형
	3~8 ton/hr	진동식		00	7~20 ton
00	5 m ³ /hr	진동스크린	00	5~20 ton	경사스크린(롤러압착식)
	3~5 m ³ /hr	진동식		3~5 m ³ /hr	진동스크린
	5 m ³ /hr	스크류압착식		00	3~5 m ³ /hr
	5 m ³ /hr	드럼스크린	00	3~5 m ³ /hr	(스크류탈수기)
	5 m ³ /hr	롤러압착식		7~11 ton/hr	진동분리식(스크류압착식)
	5 m ³ /hr	원심분리기		3~6 ton/hr	스크류압착식
	10~30 m ³ /hr	드럼압축식		3~6 ton/hr	진동분리식
00	3~5 ton	진동스크린	00	10~30 ton	드럼스크린(스크류압착식)
	3~5 ton	스크류압착식	00	3~5 ton/hr	원심분리식
	7~20 ton	진동스크린(스크류압착식)		5 ton/hr	중력분리식
	15~20 ton	스크류압착식	00	1~30 ton/hr	원심분리기
00	1,500 mm	벨트프레스(여과포)	00	3~8 ton/hr	롤러압착식
00	5~20 m ³ /hr	원심분리식	00	15~20 ton/hr	드럼스크린(스크류압착식)
00	2~7 m ³ /hr	진공흡입 롤러압착식	00	5~10 ton/hr	진동분리식
00	1~3 m ³ /hr	진동분리식		10~30 ton/hr	경사스크린(롤러압착식)
	3~20 m ³ /hr	스크류압착식		5~10 ton/hr	벨트로라식
	1~30 m ³ /hr	원심분리식		00	1~30 m ³ /hr

자료) 한국축산환경시설기계협회(2011~2015). 축산기자재가격정보에서 재정리

○ 농가마다 사육여건과 방식에 차이가 있고, 같은 축종 내에서도 가축분뇨처리 이용 방식에 따라 분뇨의 배출량, 물리적 성상 및 화학 성분 조성에 많은 차이가 있으므로, 농가현장에서 여건에 맞는 분뇨처리 방식에 따라 고액분리기를 채택하고 있음.

	
<p>(스크류압착식 (밀폐식))</p>	<p>(경사스크린 (개방식))</p>
	
<p>(진동스크린 (개방식))</p>	<p>(드럼스크린 (밀폐식))</p>
	
<p>(원심분리기 (밀폐식))</p>	<p>(벨트프레스 (개방식))</p>

<그림 70> 고액분리기의 종류 및 구조 (밀폐 및 개방)

○ 고액분리기의 성능적인 부분과 함께 중요하게 고려되어야 할 점은 기기별 형태별 악취 발생 평가임. 그러나 현재 상용화되어있는 고액분리기의 경우 악취관리에 대한 전문적인 평가는 거의 없으며, 이는 추가적인 검토가 필요함.

- 고액분리기의 운영 목적상 집수조 및 유량조정조 옆, 또는 퇴비사 내부·외부에 설치된 사례가 대부분이므로, 실제로 현장에서 고액분리기의 악취발생 평가 시 설치공간 주변 악취발생 원 요인으로 큰 영향을 받음.

- 일반적으로 진동스크린과, 경사스크린 그리고 벨트프레스 등이 개방식 구조이며, 스크류압착식, 드럼스크린 및 원심분리기 등은 밀폐식 구조임. 단, 고액분리기의 형태가 밀폐식 구조 이더라도 개방된 공간 또는 퇴비사에 설치되어 있으면 기기의 구조적 악취저감 기능이 큰 의미를 가지지 못함.
- 이에, 민원이 발생할 가능성이 높은 시간대 및 저기압 시에는 고액분리 운영을 자제하며, 고액분리시설 자체를 밀폐화하는 방식이 권고되고 있음. 또한 밀폐화 구조물 내·외부에 안개분무 시설을 추가로 설치·운영하는 사례도 늘어나고 있음.



<그림 71> 고액분리기의 종류 및 구조 (밀폐 및 개방)

- 고액분리시설의 냄새저감 방법을 정리하면 다음과 같음.
 - 고액분리기 시설을 밀폐하거나 밀폐화 된 퇴비사 내부에 설치하여 냄새 확산 방지
 - 밀폐화된 구조물 내부에 있는 악취물질을 음압으로 포집하여 적절한 냄새저감장치로 처리
 - 고액분리기 운영은 최대한 맑은 날(고기압) 낮 시간 동안 실시
 - 피트 내 슬러리를 오래 보관하지 않고 신속하게 고액분리를 하여 고액분리 시 냄새 최소화
 - 슬러리의 신속한 고액분리는 집수조(유량조정조)의 슬러지침전 및 부패 방지로 냄새 저감

○ 고액분리기 밀폐화에 따른 냄새저감 사례는 다음 <표 87><그림 72>에 나타냄.

<표 87> 고액분리기 밀폐화에 따른 냄새 저감 사례 (1)

사육규모(형태)	고액분리기 형태	고액분리기 밀폐화 시설 내부*		고액분리기 밀폐화 시설 외부*	
		NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)
2,700두 (번식)	경사스크린 (+롤러압착)	96.33	45.59	4.80	2.39

* 고액분리 가동 중 측정(측정 시 안개분무장치는 가동하지 않음)
 주1) 다항목가스측정기(SKY2000-M4) 및 온습도·풍속 센서(Kestrel Environmental Meter) 이용
 주2) 측정 당시 온습도 및 풍속: 온도 32.8℃, 습도 64.0%, 풍속 0~0.4m/s
 자료) 상지대학교(2019)



<그림 72> 고액분리기 밀폐화에 따른 냄새저감 사례(1)

<표 88> 고액분리기 밀폐화에 따른 냄새저감 사례 (2)

사육규모(형태)	고액분리기 형태	고액분리기 밀폐화 시설 내부*		고액분리기 밀폐화 시설 외부*	
		NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)
8,000두(일관)	원심분리기, 경사스크린	49.35	41.38	0.54	0

* 고액분리 가동 중 측정(측정 시 안개분무장치는 가동하지 않음)
 주1) 다항목가스측정기(SKY2000-M4) 및 온습도·풍속 센서(Kestrel Environmental Meter) 이용
 주2) 측정 당시 온습도 및 풍속: 온도 32.8℃, 습도 64.0%, 풍속 0~0.4m/s
 자료) 상지대학교(2019)



(밀폐된 고액분리시설 외부 및 내부)



(밀폐된 고액분리시설 내부 및 악취측정)

<그림 73> 고액분리기 밀폐화에 따른 냄새저감 사례(2)

- 가축분뇨의 오염지표 중 BOD는 VFA를 포함한 악취물질과 매우 강한 정(positive)의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있음(Williams, 1984; Zhu 등, 2011; Ni 등, 2012). 즉, 가축분뇨 내 BOD농도가 낮으면 악취 원인물질도 낮음. 이러한 의미로서 고액분리기는 1차적으로 분뇨 중 고형물 및 BOD농도를 줄임으로서 악취물질의 저감을 기대할 수 있음. 다음은 고액분리 처리에 따른 BOD, 고형물(TS, SS), 질소, 인의 저감 효율에 대한 조사내용을 기술하였음.
- 조사대상 농가의 평균사육 규모는 약 3,000두이며, 비육돈사의 슬러리를 이용하였음. 시료의 채취는 농가현장 및 고액분리기 기기별 특성에 따라 5분~30분 사전가동 후 샘플링을 실시하였음. 분리 고형물의 시료 채취는 현장 상황에 따라 임의의 시간(1분~30분) 동안 포집용기에 분리 고형물을 전량 포집한 후 현장에서 무게를 측정하고 균일하게 혼합하여 시료를 채취하였음. 유입원수와 처리수인 액상시료는 유입 및 배출구에 T자형 밸브를 설치하여 시료를 채취하였으며, 밸브의 간이 설치가 물리적으로 불가능한 농가의 경우에는 원수유입 배관과 배출수 배관에서 각각 채취하였음. 액상시료의 채취는 고형시료를 채취하는 시간의 1/2이 되는 시점에서 원수와 처리수 각각의 시료를 채취하였음. 이후 액상시료인 유입원수 및 분리 액상물은 수질오염공정시험기준과 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 따라 BOD, TS, SS, TS, TP를 분석하였으며, 분리 고형물의 경우 함수율을 분석하였음.
- 고액분리에 따른 양돈분뇨 슬러리의 BOD, 고형물(TS, SS), 질소, 인의 저감 특성조사 결과, 벨트프레스 및 원심분리기 약주형의 경우 유입원수 대비 저감(분리)효율은 BOD 53~66%, TS 65~79%, SS 87~97%, TN 29~43%, TP 91~97%로 나타났으며, 분리 고형물 함수율은 72~76%로 분석되었음. 원심분리기 무약주형의 경우는 BOD 2~8%, TS 8~35%, SS 17~50%,

TN 4~10%, TP 57~63%, 분리고형물 함수율은 68~69%로 약주 유무에 따라 매우 큰 차이가 나타났음. 스크류압착 및 스크린(+스크류압착) 형식의 고액분리의 경우는 BOD 4~15%, TS 1~28%, SS 3~24%, TN 2~13%, TP 2~37%, 분리 고형물 함수율은 65~76%로 분석되었음.

- 즉, BOD 저감율이 2~8%인 스크린방식(무약주) 및 압착방식(무약주) 보다는 BOD 저감율이 53~66%인 벨트프레스(약주) 및 원심분리기(약주)가 악취관리 측면에서 유리할 것으로 사료됨. 단, 일반적으로 분뇨를 위탁처리(또는 자원화)하는 농가에서는 저가의 스크린 등의 방식을 대부분 사용하고 있으며, 벨트프레스나 원심분리기는 정화처리를 채택한 농가에서 사용하는 것이 대부분이므로, 특정 고액분리 방식을 “악취저감형”이라 일반화하는 것은 바람직하지 않음. 또한, 본 연구결과는 조사대상 농가마다 운영조건 및 분뇨의 성상과 환경적 요인이 상이함으로 결과에 따른 고액분리기 별 상대적 평가는 적합하지 않을 것으로 사료되며, 추후 고액분리기 종류별, 약품사용 유무 등을 고려한 악취저감효율을 종합적으로 평가하는 후속 연구가 필요할 것으로 판단됨.

<표 89> 고액분리 전 양돈분뇨 슬러리 원수의 분석항목 별 농도 범위(n=10)

항목	평균	최대	최소
BOD ₅ (mg/L)	34,700	85,350	3,950
TS (mg/L)	72,920	158,156	22,135
SS (mg/L)	51,542	104,227	9,044
TN (mg/L)	7,372	14,933	3,883
TP (mg/L)	1,616	4,277	303

자료) 상지대학교(2017). 가축분뇨 고액분리기 검증 연구용역 보고서(대한한돈협회)에서 재정리

<표 90> 고액분리기 종류 별 양돈분뇨 슬러리의 BOD, TS, SS, 질소, 인의 저감 특성 및 분리 고형물 함수율

항목	A社 벨트프레스		B社 원심분리기		C社 원심분리기		D社 스크류압착
	약주(응집제)유무	O	O	-	O	-	-
BOD ₅	처리전 (mg/L)	29,580	21,600	21,910	24,050	21,985	63,725
	처리후 (mg/L)	10,050	10,230	20,230	10,820	21,600	61,450
	분리효율 (%)	(66)	(53)	(8)	(55)	(2)	(4)
TS	처리전 (mg/L)	82,351	50,434	45,445	43,226	38,345	126,722
	처리후 (mg/L)	17,489	14,821	29,733	15,203	35,100	105,698
	분리효율 (%)	(79)	(71)	(35)	(73)	(8)	(17)
SS	처리전 (mg/L)	64,280	33,980	32,790	30,220	25,094	93,277
	처리후 (mg/L)	2,010	1,270	16,524	3,890	20,900	84,334
	분리효율 (%)	(97)	(96)	(50)	(87)	(17)	(10)
TN	처리전 (mg/L)	7,852	4,802	4,590	5,591	5,439	10,962
	처리후 (mg/L)	4,631	3,426	4,123	3,183	5,206	10,521
	분리효율 (%)	(41)	(29)	(10)	(43)	(4)	(4)
TP	처리전 (mg/L)	1,630	678	616	892	685	4,048
	처리후 (mg/L)	137	24	229	68	296	3,392
	분리효율 (%)	(91)	(97)	(63)	(92)	(57)	(16)
분리 고형물 함수율 (%)		79.4	76.1	67.6	71.9	68.8	64.7

자료) 상지대학교(2017). 가축분뇨 고액분리기 검증 연구용역 보고서(대한한돈협회)에서 재정리

항목		E社 스크류압착	F社 드럼스크린 (+스크류 압착)	G社 드럼스크린 (+스크류 압착)	H社 경사스크린 (+스크류 압착)	I社 경사스크린 (+스크류 압착)	J社 진동스크린 (+스크류 압착)
약주(응집제)유무		-	-	-	-	-	-
BOD ₅	처리전 (mg/L)	57,444	44,300	16,280	3,950	26,230	85,350
	처리후 (mg/L)	55,050	40,300	15,580	3,765	22,450	72,850
	분리효율 (%)	(4)	(9)	(4)	(5)	(14)	(15)
TS	처리전 (mg/L)	124,306	81,752	28,934	22,135	73,230	158,156
	처리후 (mg/L)	109,016	71,727	24,747	21,919	52,953	121,725
	분리효율 (%)	(12)	(12)	(14)	(1)	(28)	(23)
SS	처리전 (mg/L)	95,034	60,790	18,917	9,044	50,854	104,227
	처리후 (mg/L)	88,800	53,207	15,627	8,817	41,597	79,160
	분리효율 (%)	(7)	(12)	(17)	(3)	(18)	(24)
TN	처리전 (mg/L)	10,612	9,399	4,778	3,883	5,629	14,933
	처리후 (mg/L)	10,422	9,094	4,202	3,382	5,240	12,973
	분리효율 (%)	(2)	(3)	(12)	(13)	(7)	(13)
TP	처리전 (mg/L)	2,522	1,483	561	303	1,722	4,277
	처리후 (mg/L)	2,446	1,452	428	291	1,093	3,874
	분리효율 (%)	(3)	(2)	(24)	(4)	(37)	(9)
분리 고형물 함유율 (%)		66.6	71.8	65.4	71.4	75.7	73.2

4) 퇴비화 시설

- 가축의 배설물은 귀중한 유기 비료 자원이지만 생분뇨 그대로는 강한 악취가 나고 수분이 많으며, 병원균이나 기생충이 존재함. 퇴비화의 목적 중 하나는 가축분뇨를 악취와 오물감이 없애고, 병원균 등을 사멸시켜 이용자가 취급하기 쉽고 안전하게 이용할 수 있도록 처리하는 것임. 또한 토양이나 작물에 가축분뇨 중의 미숙 유기물을 부숙시키고 유해물질의 분해 및 잡초종자를 사멸시켜 비료성분을 적당히 함유한 안정적인 유기성 비료로 만드는 것임.
- 일반적으로 퇴비화는 호기성미생물의 대사과정이며, 호기성미생물의 증식에는 공기(산소)가 필수적임. 미생물은 산소를 이용하여 유기물을 분해, 발효열 발생, 수분증발을 통하여 부숙을 촉진함. 퇴비화 시 통기 조건이 불량할 경우 즉, 퇴비가 혐기성이 될 때 악취물질의 발생이 현저해짐. 그 원인은 혐기성 조건에서의 황화합물과 저급지방산의 발생임. 황화합물과 저급지방산은 냄새를 느끼는 최소농도가 매우 낮기 때문에 적은 양의 발생에서도 쉽게 악취를 느끼게 됨. 따라서 퇴비화 조건은 호기성 조건을 유지하여 수분조절과 환기에 유의하고 가능한 한 부패악취의 발생을 억제하는 것이 제일 중요함.
 - 즉, 산소의 공급이 중단된 상태에서 가축분을 장기간 방치하면 혐기성미생물이 활동하지만 유기물의 분해속도는 낮고, 온도도 상승하지 않으며, 특히 황화수소 등의 황화합물 및 저급지방산 등의 악취물질이 다량 생성됨.
- 한편, 정상적인 퇴비화 과정에서도 악취물질 발생에 유의해야 함. 퇴비화 초기 아직 퇴비 더미의 온도가 상승하지 않은 시점에서는 황화합물 등의 악취가 강하지만, 퇴비 더미의 온

도가 상승하면 암모니아의 발생이 많아짐. 퇴비화 시설에서의 악취가스는 측사에 비해 매우 높은 농도(암모니아 수백~수천 ppm)로 발생함.

<표 91> 퇴비화를 촉진하는 조건

조건	세부내용
영양분	- 영양분은 BOD 수만ppm 이상이므로 충분함(C/N비는 질소 과다).
수분조절	- 수분은 60~65% 수준으로 조정함. - 수분흡수율 등을 고려한 수분조절재 (톱밥, 왕겨 등)의 선택 - 수분조절재 보관 시 건조 상태 유지 및 관리
공기(산소)	- 통기성이 좋도록 퇴적하고, 교반 또는 뒤집기를 실시 (공기공급을 방해하는 퇴비더미 눌림 현상 방지) - 단순퇴적식 발효시설의 경우 1회/1일 교반 실시 - 강제통기 발효시설의 경우 50~300L/min.m ³ 수준이 적당
미생물	- 생분뇨 중에는 여러 종류의 미생물(10 ⁷ ~10 ⁸ 개/g)이 존재함 - 퇴비화는 특정 미생물이 아닌 여러 종류의 미생물이 온도 조건 변화 등에 따라 바뀌어 가며 진행됨 - 일반적으로 퇴비화 초기에는 세균이 우세하며, 4주차에는 방선균, 12주차에는 사상균 및 셀룰로오스 분해균이 출현함 - 퇴비화 시 고온 영역에서는 고온미생물이 우세하나 중온미생물이 사멸되는 것은 아니며 약 10 ⁶ ~10 ⁹ 개/g 수준으로 존재함 - 온도가 저하되어 중온 영역이 되면 중온 미생물이나 균류가 다시 우세하게 됨 (이 단계에서는 악취가 저감되고 퇴비취(방선균 냄새)가 발생함)
온도	- 60℃ 이상이 기준 - 퇴비단 내 고른 온도 분포를 확인
퇴비화 기간	- 퇴비화 기간은 퇴비화 방식과 혼합된 부자재의 종류에 따라 다르나 60일~90일 정도 1차 및 2차 발효를 거침 - 단순퇴적식: 발효조(1차) 60일, 퇴적장(2차) 30일 정도 - 퇴적통풍식: 발효조(1차) 15일, 퇴적장(2차) 45일 정도 - 기계교반식: 발효조(1차) 30일, 퇴적장(2차) 30일 정도
기타요인	- 적정 입자크기 (0.65~2.54cm) - pH 5.5~8.5 - 공극율 30% - 유기물 대 질소비율 20~30:1 - 퇴적더미의 높이 2m 이하

자료) 국립축산과학원(2017) 올바른 가축분뇨 퇴비 만들기, 農文協(2004) 畜産環境對策大事典(第2版)에서 재정리

○ 따라서, 퇴비화 시설에 대한 기본적인 냄새저감 대책은 퇴비화의 적정 호기성 조건을 충족하여 정상적인 퇴비화를 실시하고, 가능한 혐기성 상태를 방지하여 부패성 악취의 발생을 억제하는 것이며, 악취의 발생 위치를 가능한 작은 용적으로 밀폐 및 강제 환기를 통해 탈취장치로 처리하는 것임.

- 악취의 포집 및 환기는 악취 발생원(퇴비사)을 비닐하우스나 적절한 구조물을 이용하여 최대한 밀폐화 후 통풍구를 마련하여 강제 환기에 의한 탈취장치로 전량 이송시키는 것이 필요함. 이때 신선한 공기의 유입구는 환기구에서 가급적 떨어진 장소에 설치함.
- 대형 퇴비화 시설(내부 용적이 큰 경우)의 경우는 내부를 이중구조로 밀폐화 또는, 발효조를 1개조 마다 덮거나 커튼 등으로 나누는 등 내용적을 최대한 적게 설치함. 내용적이 불필요하게 클 경우 환기량이 많아지고, 탈취시설의 규모가 너무 크게 됨. 또한, 운전 비용도 증가하게 되므로 애로사항이 가중될 우려가 있음.
- 환기량은 발효조를 비닐 구조물 등으로 밀폐화한 후 조의 공간 용적(내용적에서 퇴비 퇴적량을 뺀 나머지 양)의 공기를 시간당 8~10회 정도 환기하는 양으로 하며, 송풍시설이 있는 경우에는 송풍량까지 포함하여 산정함.



<그림 74> 퇴비화시설 밀폐화 및 냄새저감기술 적용사례

- 국내 현장조사 결과, 퇴비사에서 발생하는 악취를 저감하기 위한 방법으로는 일반적으로 밀폐화 시설을 구축하고 방법을 채택하고 있으며, 퇴비사 밀폐화를 통한 냄새확산 저감에 효과가 있는 것으로 판단됨.
- 그러나 밀폐화 시설과 연계되어 별도의 탈취장치를 설치한 사례는 많지 않은 것으로 조사되었으며, 이 경우 퇴비사 내부에 고농도로 체류되어 있는 악취가스는 잠재적 악취발생원으로 작용할 뿐만 아니라 작업자의 안전을 위해서도 반드시 개선되어야 할 부분임.

<표 92> 퇴비화 시설 밀폐화에 따른 냄새저감 사례 (1)

사육규모(형태)	퇴비사 환기 및 탈취시설	밀폐화 된 퇴비화 시설 내부		밀폐화 된 퇴비화 시설 외부	
		NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)
2,700두 (번식)	없음	21.79	0	0	0

주1) 다항목가스측정기(SKY2000-M4) 및 온습도·풍속 센서(Kestrel Environmental Meter) 이용

주2) 측정 당시 온습도 및 풍속: 온도 32.8℃, 습도 64.0%, 풍속 0~0.4m/s

자료) 상지대학교(2019)



<그림 75> 퇴비화 시설 밀폐화에 따른 냄새확산 저감 사례 (1)

<표 93> 퇴비화 시설 밀폐화에 따른 냄새저감 사례 (2)

사육규모(형태)	퇴비사 환기 및 탈취시설	밀폐화 된 퇴비화 시설 내부		밀폐화 된 퇴비화 시설 외부	
		NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)
8,000두 (자돈)	없음	23.45	0	0	0

주1) 다항목가스측정기(SKY2000-M4) 및 온습도·풍속 센서(Kestrel Environmental Meter) 이용

주2) 측정 당시 온습도 및 풍속: 온도 30.0℃, 습도 68.4%, 풍속 0~0.6m/s







자료) 상지대학교(2019)



<그림 76> 퇴비화 시설 밀폐화에 따른 냄새확산 저감 사례 (2)

- 이외에도 퇴비 더미에 비닐을 덮어 놓거나, 압롤박스 또는 톤백 등에 개별저장하여 악취의 확산을 방지하는 노력을 하고 있으며, 최근에는 밀폐형 콤포스트기가 중규모 이상의 농가에서 선호하고 있는 것으로 파악됨. 밀폐형 콤포스트기는 고액분리한 분을 수직 또는 수평형 발효조에 투입하여 발효시키며, 이때 발생하는 고농도의 배가스는 별도의 탈취장치에 연계

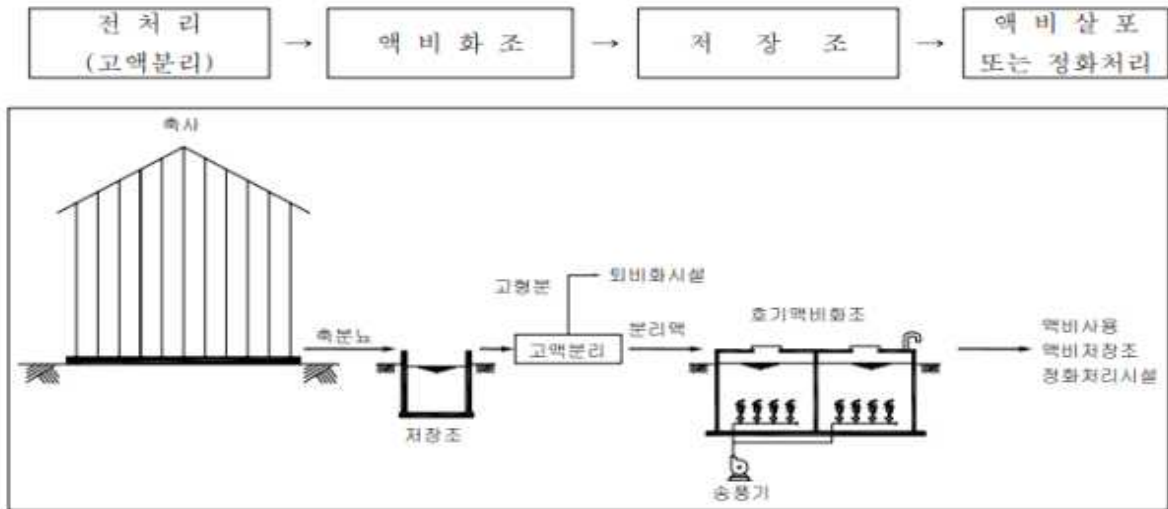
하여 처리함. 밀폐형 콤포스트기는 비교적 빠른 시간으로 집중 발효가 가능하나 설치비 및 운영비가 고가라는 단점이 있음.

	
<p>(퇴비단 비닐시트 피복)</p>	
	
<p>(분리 고형분의 압출박스 저장 및 이용)</p>	<p>(완숙퇴비의 톤백 저장)</p>
	
<p>(밀폐형 콤포스트 및 탈취시설 연계)</p>	

<그림 77> 퇴비화 시설에서의 악취저감방법 적용 사례

5) 액비화 시설

- 가축분뇨의 고액분리 여액의 자원화는 호기 또는 혐기적 처리방법으로 구분할 수 있으나 일반적으로는 주로 폭기처리에 의한 호기성 액비화를 채택하고 있음. 액비화조에서는 호기성 미생물의 활성 유지 및 유기물질을 산화·분해할 수 있도록 지속적인 공기(산소) 공급을 통하여 용존산소가 부족하지 않은 상태로 유지하여야 함.
- 일반적인 액비화 공정은 고액분리(전처리), 액비화조(발효조), 저장조, 액비살포의 순서로 구성되어 있으며, 고액분리 여액의 BOD농도는 농가마다 세척수 사용량, 고액분리기 사양에 따라 차이가 있으나 「가축분뇨 자원화시설 표준설계도」(환경부·농림수산식품부·농협중앙회, 2009)에 따르면 BOD농도 11,000~22,000 mg/L, 액비화 일수 15~30일 기준 시 호기성 액비화조 단위용량당 공기량은 0.03 m³air/m³·min로 설계함.



<그림 78> 액비화 공정 모식도

자료) 환경부·농림수산식품부·농협중앙회(2009) 가축분뇨 자원화시설 표준설계도(해설서)

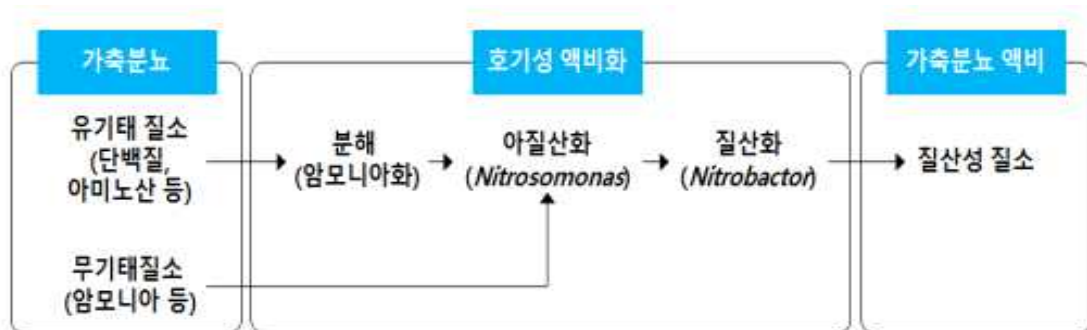
<표 94> 축사 100m² 당 돼지사육두수 및 분뇨발생량과 고액분리 여액의 유기물 부하에 따른 액비화조건

구분	분뇨 분리식(돼지)	분뇨 혼합식(돼지)
사육두수	71.4두/100m ²	71.4두/100m ²
마리당 고액분리여액 배출량	4.27 L/두·일	2.35L/두·일
분·뇨 발생량	304.88 L/일	167.79 L/일
고액분리 여액의 BOD농도	11,000 mg/L	22,000 mg/L
BOD용적부하	0.8 kgBOD/m ³ ·일	0.8 kgBOD/m ³ ·일
액비화 일수	15일	30일
호기액비화조 단위용량당 공기량	0.03 m ³ air/m ³ ·min	0.03 m ³ air/m ³ ·min

자료) 환경부·농림수산식품부·농협중앙회(2009) 가축분뇨 자원화시설 표준설계도(해설서)에서 제정리

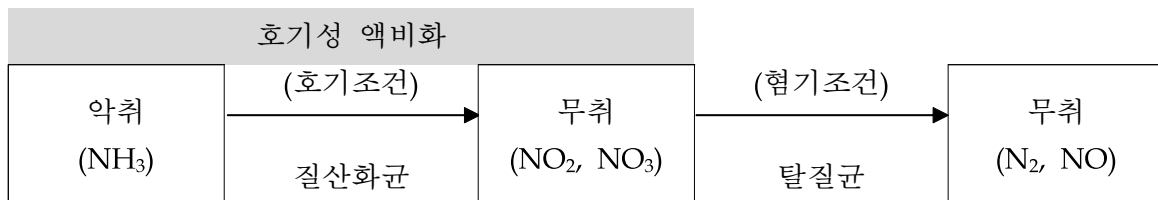
- 가축분뇨의 호기성 액비화 방식은 상대적으로 강한 산화작용을 통해 유기 화합물이 더욱 집중적으로 분해되기 때문에 악취 문제를 해결하기 위한 방법으로 오랫동안 연구되어져 왔음.
- 가축분뇨 중 질소 성분은 유기태(단백질, 아미노산)와 무기태(암모늄이온)로 존재하고 있음. 유기태 질소는 액비화 과정에서 유기물의 분해와 함께 암모니아로 전환되고, 악취 원인 물질인 암모니아는 폭기에 의한 산화 조건에서 아질산화 및 질산화를 거쳐 무취의 질산성 질소로 전환되어 악취 요인을 저감 시킴. 따라서 부숙액비에 포함된 질소는 질산성 질소 형태로 존재하는 것이 일반적임.
- 이와 같이 가축분뇨의 액비화 과정에서는 질산화를 포함하여 다양한 이화학적 변화가 일어함. 특히 악취물질(암모니아가스)의 발생 기작과 관련하여서는 액비화 과정 중 산도의 변화 및 질소 성분의 변화과정과 깊은 연관이 있음.

- 호기성 액비화 처리 시 일반적으로 부숙초기 단계(생분뇨)에서의 산도는 중성 부근이며, 호기성 미생물의 대사과정에 의해 발효가 집중적으로 이루어지는 부숙중기 단계까지 pH 9~10 수준으로 상승함. 이후 완숙 단계에서는 부식 등의 형성 및 질산화 시 OH⁻의 발생 기작에 따른 완충능력으로 산도는 다시 중성인 pH 7~8로 낮아지는 경향을 나타냄.
 - 폭기처리에 따른 pH의 상승 이유는 크게 ①암모니아의 생성(아미노산, 아미노당, 단백질 등의 유기질소화합물이 암모니아성질소로 전환), ②CO₂의 배출, ④휘발성지방산의 제거, ③수용성인산의 제거에 기인한 것으로 알려져 있음(Calvet et al., 2017; Fangueiro et al., 2015; Sørensen and Eriksen, 2009; Zhang and Zhu, 2005).
- 널리 알려진 대로 암모늄이온과 암모니아는 생성과 반응의 평형 관계에 있음(Liao et al., 1995; Fangueiro et al., 2015). 액상 내 pH 상승 시 수산화이온이 증가하게 되면, 산과 염기의 반응평형을 맞추기 위해 수소이온이 공급되어야 함. 이때 평형반응식에 따라 암모늄이온에서 암모니아로 바뀌는 반응이 활발히 일어나 상대적으로 암모니아의 농도가 높아지게 됨. 즉, 물에 녹아있던 암모늄이온은 pH가 높아짐에 따라 암모니아로 바뀌고 이는 교반이나 폭기와 같은 물리적 충격에 의해 쉽게 휘산되어 고농도의 악취물질(암모니아가스)로 발생하게 됨.
- 따라서, 고액분리 여액의 함유되어 있는 전체 질소량으로부터 액비화 후 남아 있는 유기태 및 무기태질소(암모니아성질소, 아질산성질소, 질산성질소)를 제외한 양의 상당 부분은 상기 기작에 의해 고농도의 암모니아가스로 탈기되었다고 볼 수 있으며, 액비화 시설에서 반드시 제어되어야 할 대상임.

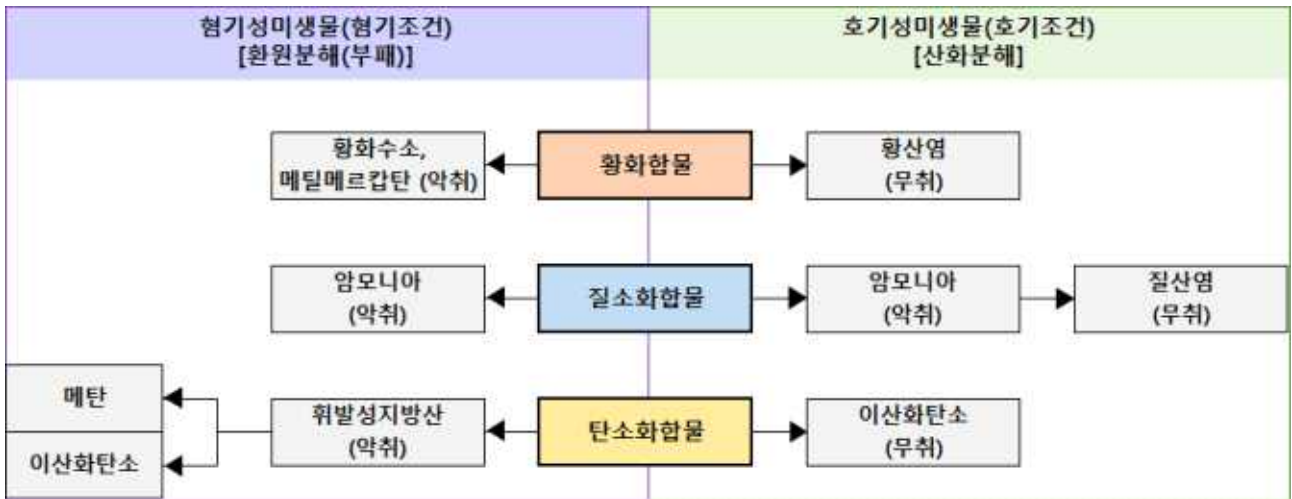


<그림 79> 가축분뇨의 호기성 액비화 과정 중 질소성분의 물질전환

자료) (사)친환경자연순환농업협회 (2017) 통합형 가축분뇨 자원화 혁신모델 사업단. 농림축산식품부 연구보고서

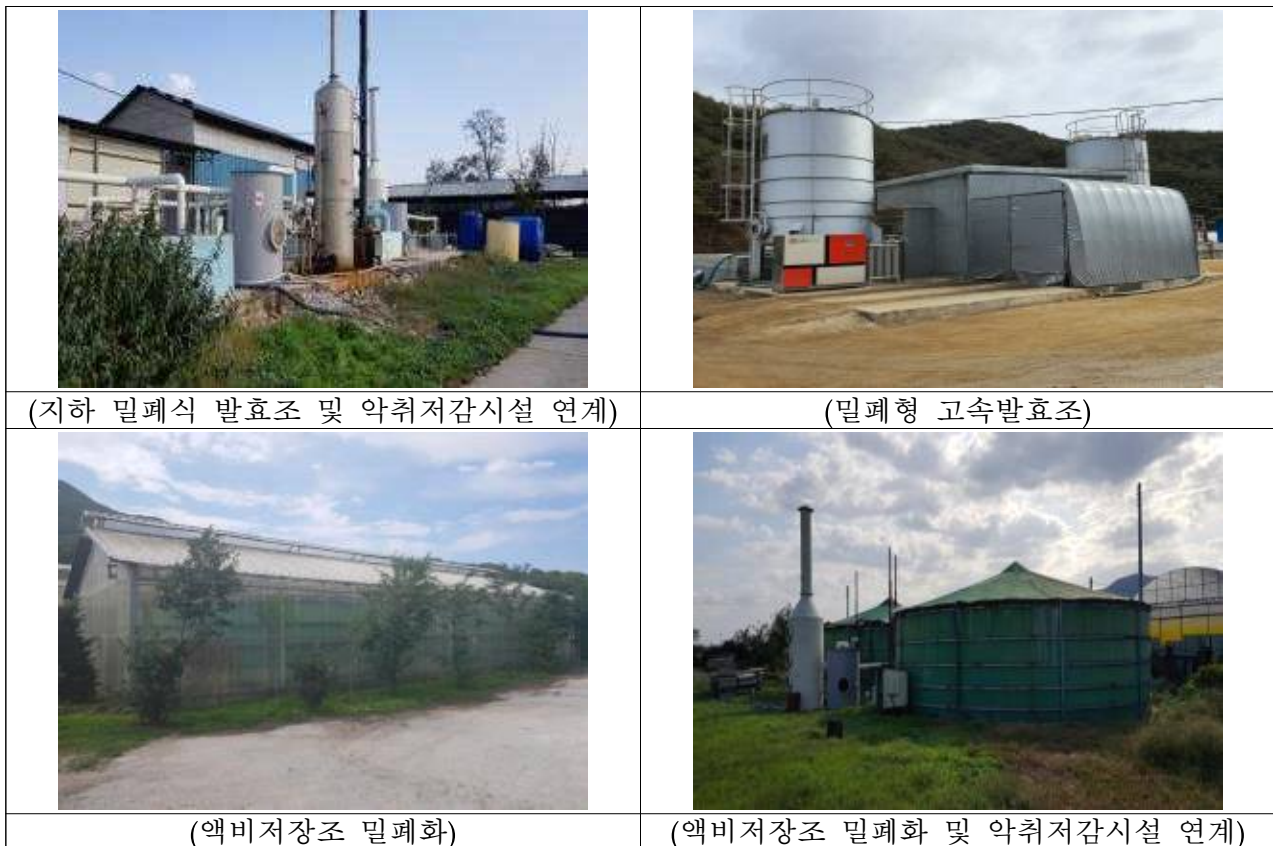


<그림 80> 가축분뇨의 호기성 액비화 과정 중 질산화에 따른 냄새 원인물질의 저감



<그림 81> 가축분뇨의 호기 및 혐기성 처리에 따른 생성물의 차이

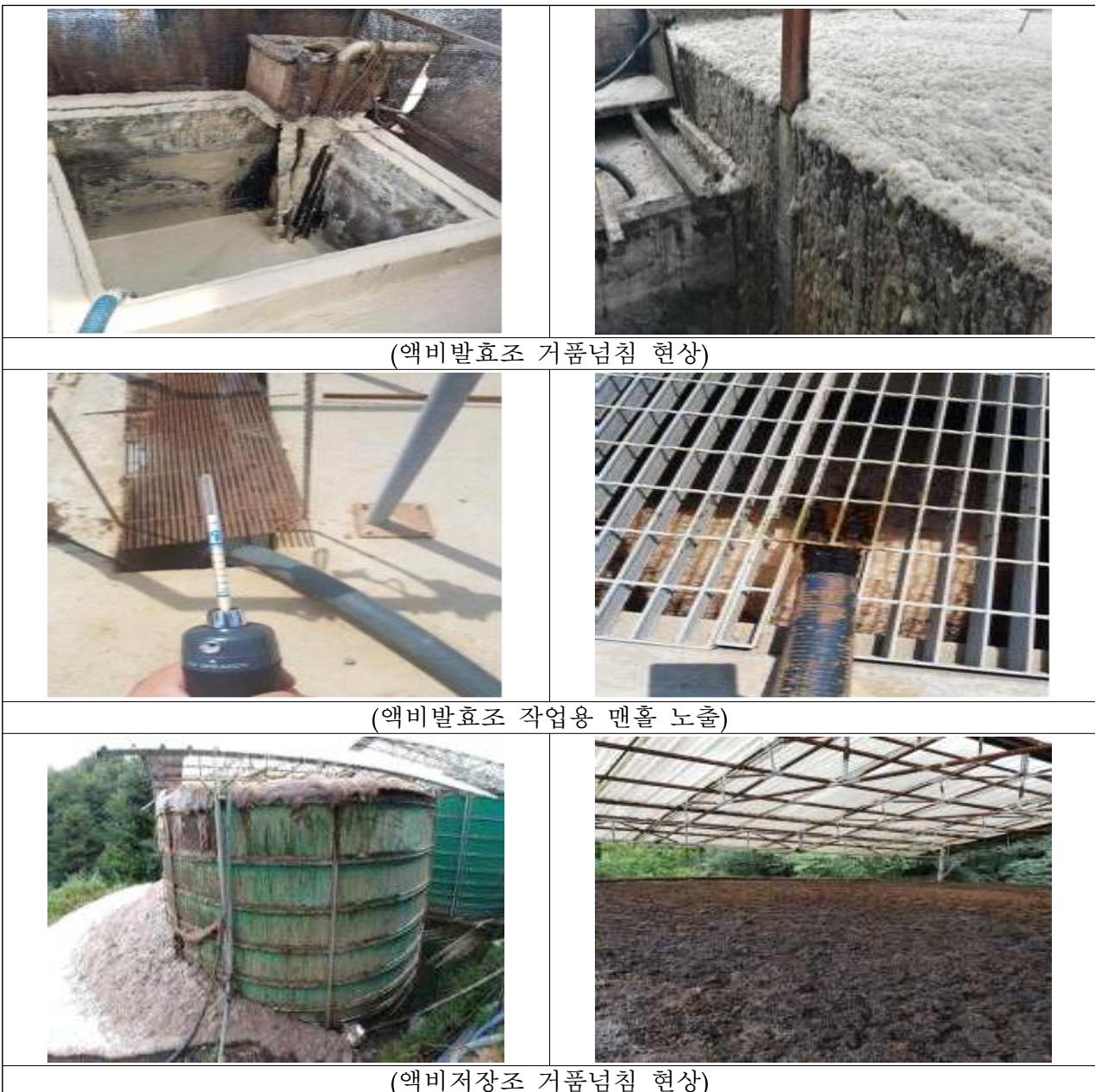
- 액비화 시설의 기본적인 냄새저감 대책은 퇴비화 시설과 마찬가지로, 액비화조 내 적정 호기 조건을 충족하여 정상적인 액비화를 실시하고, 폭기량 및 용존산소량 등을 상시 점검하여 혐기성 상태의 방지 및 부패성 악취의 발생을 억제하는 것임. 또한, 액비화 시설에 대하여 밀폐 및 강제 환기를 통해 스크러버 및 탈취탑 등의 냄새저감장치로 처리해야 함.



<그림 82> 액비화 시설에서의 악취저감방법 적용 사례

○ 그러나, 양돈농가의 액비화 시설은 대부분 외부로 노출된 개방식 형태로 운영되고 있는 것이 현실이며, 이 때문에 악취를 저감할 수 있는 방법이 극히 제한적이고, 악취의 관리 및 조절에 한계가 있음.

- 액비화 시 폭기조에는 적절한 산소 공급해 주거나 하나 개방된 액비화조에서 발생하는 악취 문제, 거품발생 문제 등으로 정상적인 폭기운영이 되지 않을 경우 미생물의 활력이 떨어지고, 발효조 내 침전물이 퇴적되어 부패가 일어나는 등 악순환이 일어남.
- 또한, 액비화조와 연결된 분뇨 이송 라인 등이 노출되어 있으므로 이송 과정에서 주요 악취 발생원으로 발생하며, 액비 발효조나 액비 저장조가 밀폐되어 있다 하더라도 운영관리를 위한 일부 개폐시설(맨홀 등)이 상시 개방되어 운영하는 것도 문제점 중 하나임.



<그림 83> 개방형 액비화시설의 악취발생노출 사례

나. 양돈농가 분뇨처리시설의 악취관리 현장조사

- 농가단위 분뇨처리시설 악취관리 현장조사 결과 분뇨처리시설(고액분리시설, 퇴비화시설 및 액비화시설)의 대부분은 개방형으로 별도의 악취저감시설을 채택하지 않고 있는 것으로 나타났다으며, 농장 자체의 악취 관리 매뉴얼도 확보되지 않은 상태임.
- 일부 선도적인 농가에서는 분뇨처리시설 안개분무(고액분리 및 퇴비화 시설) 등을 연계처리하고 있음. 액비저장조의 경우 밀폐화 후 바이오필터를 사용하고 있으며, 대부분 악취제어를 위한 미생물제 (고초균, 광합성세균 등)을 돈사 슬러리피트나 액비화시설에 투입하는 수준임.

<표 95> 양돈농가 분뇨처리시설의 악취관리 현장조사

농가정보		분뇨처리시설 악취관리 현황			기타
		고액분리시설	퇴비화시설	액비화시설	
1	양돈 24,000두	[시설요약] -개방형 -드럼스크린(+스크류압착) 2기 -액비돈사순환시스템 운영으로 고액분리 시 냄새 거의 없음 [악취분석] - NH ₃ : 1 ppm	[시설요약] -개방형 -고액분리된 고형물은 720m ² 의 퇴비사에 약 5m높이로 퇴적. 개방형 -냄새가 거의 없음 [악취분석] - NH ₃ : 1 ppm	[시설요약] -밀폐형(주발효조) -개방형(액비저장조) -액비돈사순환시스템 운영(주발효조 3N방식) -배가스는 밀폐된 주발효조로부터 배관 통해 배출 [악취분석] -NH ₃ : 200 ppm이상(가스 배출배관)	-악취제어를 위해 미생물제를 이용하며, 고초균, 광합성세균을 돈사에 투입 -액비화조로부터 발생하는 암모니아 악취의 확산을 제어할 밀폐식 분뇨관리 방법 필요
2	양돈 2,200두	[시설요약] -개방형 -드럼스크린(+스크류압착)	[시설요약] -개방형 -고액분리된 고형물은 2개의 개방식의 퇴적장에서 퇴비화 -일부 비닐로 덮어 관리 -수분조절제는 수피 사용 [악취분석] - NH ₃ : 1 ppm	[시설요약] -지붕밀폐형 액비저장조 -3개씩 2개조로 연결된 200톤 규모의 액비저장조에서 관리. -밀폐형 액비저장조의 가스는 바이오필터를 통과함 [악취분석] -NH ₃ : 15ppm (바이오필터 상부)	-고초균, 광합성세균을 배양 및 돈사에 악취제거용으로 사용 -고액분리기, 퇴비화시설은 개방형. 액비화시설은 지붕밀폐형 채택
3	양돈 1,750두	[시설요약] -개방형 -진동스크린(+스크류압착) - NH ₃ : 2 ppm	[시설요약] -개방형 -고액분리 후 개방식 퇴비사로 이동하여 처리 -단순 퇴적하는 형태로서 악취발생이 심하며 위생상태가 불량 [악취분석] -NH ₃ : 2 ppm	[시설요약] -개방형 -액상물은 500m ³ 개방형 액비저장조 2기에서 처리 [악취분석] -NH ₃ : 20ppm(액비저장조 상부)	-돈사내부에 광합성세균, 고초균 등을 살포 -악취 저감시설은 전무한 상태

4	양돈 1,600두	[시설요약] -개방형 -진동스크린(+스크류압착) [악취분석] -NH ₃ : 0 ppm	[시설요약] -개방형 -고형물은 퇴비사로 이송하여 수피로 수분조절 -민간 퇴비공장으로 반출 [악취분석] -NH ₃ : 0 ppm	[시설요약] -지붕가림형 액비저장조 -액비저장조 3기 운영 -연간 2-3회전 -1,400-1,600톤/년 배출 -폭기 시 거품 대량 발생으로 운영 어려움 [악취분석] -NH ₃ : 90ppm(액비저장조 상부)	-슬러리 돈사에 광합성세균, 고초균을 사용
5	양돈 950두	[시설요약] -개방형 -경사스크린(+스크류압착) [악취분석] -NH ₃ : 3 ppm	[시설요약] -개방형 -단순 퇴적식으로 처리 -퇴비 뒤집기는 하지 않고 톱밥사용도 하고 있지 않음 -때로는 사체 처리장소로 퇴비더미를 사용 [악취분석] -NH ₃ : 6 ppm	[시설요약] -개방형 -200톤 2개 액비저장조에서 처리 -저기압일 경우 폭기하지 않음 -폭기처리 시 거품이 넘치는 에로사항 있음 [악취분석] -NH ₃ : 5 ppm (액비저장조 상부)	-슬러리피트 내 고착슬러지의 연화제 및 친환경유기물 분해제, 활성제, 냄새저감제로 미생물제사용
6	양돈 3,000두	[시설요약] -개방형 -드럼스크린(+스크류압착)	[시설요약] -개방형 -고액분리된 고형물은 개방식의 퇴적장에서 퇴비화되고 있음	[시설요약] -개방형 -5개로 연결된 액비화조에 서 폭기처리 -액비처리 시 냄새가 심하게 발생 -거품의 과잉 넘침 발생으로 운영 어려움 [악취분석] -NH ₃ : 17 ppm	-악취제거를 위해 EM균을 별도로 자체 배양
7	양돈 1,500두	[시설요약] -개방형 -스크린 -고속데칸타(가동중단) [악취분석] -NH ₃ : 3 ppm	[시설요약] -개방형 -고형물은 퇴비사서 톱밥 혼합 후 단순 퇴적 -민간업체로 반출	[시설요약] -개방형 -200톤 규모의 액비저장조에 저장하였다가 외부로 반출(위탁처리)	-돈사 내에 분무식 마스크(향기)를 살포함 -광합성세균 등 발효미생물 배양장치 및 안개분무기장치 등이 있으나 별 효과가 없는 상태
8	양돈 2,600두	[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -경사스크린(+롤러압착) [악취분석] -NH ₃ : 5 ppm(시설내부, 고액분리 미가동)	[시설요약] -개방형 -수분조절제 사용하지 않으며 단순 퇴적 -농협에서 1-2회/년 수거 [악취분석] -NH ₃ : 1 ppm	[시설요약] -개방형 -비육돈사 슬러리는 액비처리하지 않음(위탁처리) -모든 분뇨인 40-50%만 액비로 처리(처리된 액비는 자돈 및 육성돈사로 순환)	-환경공단의 컨설팅 후 고액분리시설을 밀폐 -일부(자돈사, 육성, 비육돈사) 액비순환시스템을 운영 중. -개방식 돈사(겨울철에만 밀폐처리 함)로서 지붕에 환기 배출시설 설치
9	양돈 2,900두	[시설요약] -개방형 -경사스크린 -벨트프레스(응집제사용) -액비순환방식으로 고액분리시 냄새가 별로 발생하지 않음 [악취분석] -NH ₃ : 1 ppm	[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -고형물은 밀폐식 퇴적시설에 퇴적하며 민간 퇴비장으로 반출함.	[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -액비순환방식 -폭기조와 액비조를 2개로 나누어 냄새가 밖으로 나오지 않도록 처리	-전반적으로 악취의 발생이 발생하지 않도록 구성되어 바람직한 농장으로 액비순환시스템을 잘 활용하고 있는 것으로 판단

10	양돈 3,500두	<p>[시설요약] -개별건물 내 설치 -진동스크린(+스크류압착)</p>	<p>[시설요약] -소취메쉬(염화비닐수지+활성탄+천연광물질 코팅)를 퇴비사 전면에 설치(탈취시설 없음) -고액분리 후 고형물은 2개의 퇴비사로 이동되며 수분조절재(톱밥) 혼합 후 교반하여 처리</p> <p>[악취분석] -NH₃: 4ppm(퇴비사 내부) -NH₃: 1ppm(퇴비사 외부)</p>	<p>[시설요약] -지하 콘크리트식 밀폐형 주발효조(탈취시설 연계) -밀폐형 액비저장조(탈취시설 연계) -배출되는 가스는 탈취탑으로 악취를 포집·저감</p> <p>[악취분석] -NH₃: 1ppm(주발효조 상부)</p>	<p>-인근지역이 관광특구 지역으로 냄새민원에 민감함 -전반적으로 악취의 발생이 발생하지 않도록 밀폐화하여 관리</p>
11	양돈 2,700두	<p>[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -경사스크린(+스크류압착) -고액분리시설은 밀폐형으로 퇴비사 내 위치함. -평상시 8시간/일 가동하며, 저기압 등 날씨 고려하여 탄력적으로 운영함</p> <p>[악취분석] -NH₃: 0 ppm(고액분리시설 외부)</p>	<p>[시설요약] -퇴비사는 부분밀폐형으로서 후면은 개방되어 있으며 좌우면은 밀폐, 정면은 개폐식으로 구성 -고정(설치)형 안개분무시설과 이동형 연무발생장치x2기(탈취제)를 2분/회 x4-6회/일 운영 -고형물은 소량의 수분조절재와 함께 퇴비사에 단순 저장되어 1-2회/년(15톤/차x10차/회) 정도 인근 농가에 무상으로 공급</p> <p>[악취분석] -NH₃: 0.29 ppm</p>	<p>[시설요약] -주발효조 개방형 -액비저장조 밀폐형(탈취시설 없음) -유량조정조에는 일부 부속액비(20%) 순환 -유량조정조의 분뇨는 400톤 규모 원형저장조에서 상시 폭기처리 한 후 200톤 규모 원형저장조로 3톤/일씩 투입 -이후 주발효조(사각발효조 400톤) 유입 시 10톤 PE탱크에서 12시간에 걸쳐 투입</p> <p>[악취분석] -NH₃: 0ppm(주발효조) -NH₃: 0ppm(액비저장조)</p>	<p>-퇴비화시설은 부분적으로 개방형 및 퇴비 단순적체이므로 잠재적 냄새발생에 노출되어 있음 -농가 환경에 맞는 자체적인 액비 매뉴얼을 운영하여, 최대한의 냄새관리를 통해 무취의 액비를 생산하고 있음</p>
12	양돈 2,700두	<p>[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -경사스크린(+롤러압착) -안개분무시설(+탈취제)도 설치·운영 -평상시 8시간/일 가동하며, 저기압 등 날씨 고려하여 탄력적으로 운영</p> <p>[악취분석] -NH₃: 96.33ppm(고액분리가동/내부) -NH₃: 4.8ppm(고액분리가동/외부)</p>	<p>[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -안개분무시설이 설치 -대부분 자돈사 분뇨가 고액분리 시설을 거친 후 고형분이 퇴비사로 이동 및 단순 저장방식</p> <p>[악취분석] -NH₃: 21.79ppm(퇴비사 내부) -NH₃: 0ppm(퇴비사 외부)</p>	<p>[시설요약] -주발효조 밀폐형(탈취시설 없음) -액비저장조 지붕가림형 -주발효조(1100톤)의 액비화 운영은 완전부속된 액비 약 80톤 기준으로 15톤의 분뇨원수를 투입하여 단계적으로 처리 -주발효조에서 생산된 액비는 임신사 위주로 간헐적으로 순환(1회/주)</p> <p>[악취분석] -NH₃: 0ppm(주발효조 상부) -NH₃: 150ppm이상(주발효조 가스배관) -NH₃: 63.05ppm(주발효조 맨홀)</p>	<p>-주발효조 상부의 경우 지하식/밀폐화 구조로 대부분 냄새가 없으나, 분뇨를 이송 관리하는 맨홀(암모니아 63ppm) 및 가스배출구(암모니아 150ppm 이상)가 개방된 상태로 운영되어 집중적으로 암모니아가스가 발생 -자돈사의 집수조는 일부 개방형으로 노출되어 있어 주요 냄새 발생원으로 작용</p>

13	양돈 990두	<p>[시설요약] -개방형 퇴비사 내 위치 -스크류압착 -평상시 8시간/일 가동하며, 저기압 등 날씨 고려하여 탄력적으로 운영</p>	<p>[시설요약] -퇴비사(a)와 퇴비사(b)로 구분하여 운영 -고액분리 후 고품분은 퇴비사(a) 내에서 4일간 단순저장 → 퇴비사(b)로 이동 및 계분과 함께 수거 -퇴비사는 상시 깨끗하게 비워진 상태로 운영됨</p> <p>[악취분석] -NH₃: 0ppm(퇴비사 내부) -NH₃: 0ppm(퇴비사 외부)</p>	<p>[시설요약] -분뇨 저장조 밀폐형(탈취시설 없음) -액비저장조 밀폐화되어 있으나 운영하지 않음 -지하식 집수조(70톤)→지하식 저장조(200톤)→위탁처리 -지하식 저장시설 상부 맨홀부분과 이송라인을 밀폐</p> <p>[악취분석] -NH₃: 0ppm(집수조 상부) -NH₃: 0ppm(저장조 상부)</p>	-4일에 1회씩 고품분을 수거해가는 덕분에 퇴비사가 개방형으로 노출되어 있어도 냄새가 거의 나지 않음 -농장 내 분뇨가 적체되지 않고 빠르게 반출하여 냄새를 저감한다는 부분에서 매우 효과적임
14	양돈 (자돈) 8,000두	<p>[시설요약] -고액분리시설 없음</p>	<p>[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -고액분리시설이 없으나 돈사내 콘슬랏 청소 시 찌꺼기를 긁어내어 퇴비사에 적체함 -안개분무시설 설치 및 운영</p> <p>[악취분석] -NH₃: 23.45ppm(퇴비사 내부) -NH₃: 0ppm(퇴비사 외부)</p>	<p>[시설요약] -지하에 6개조가 단계적으로 넘어가는 형태 -평명기준 좌우측은 일부 차광막으로 밀폐(탈취시설 없음) -액비화조 상부를 측정한 결과 암모니아 및 황화수소는 검출되지 않으나 유기산 냄새가 강하게 남.</p>	-고액분리시설 운영이 필수적이며 전처리 단계에서 유입부하를 낮춰야 함 -액비화조 내 거품발생 문제가 심각함. 거품이 넘치면 폭기장치를 가동 중지할 수밖에 없으므로 정상적인 발효(공기공급)가 이루어질 수 없음
15	양돈 8,000두	<p>[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -필터프레스(롤러압착) -신규 시설설치로 현재 운영 준비</p>	<p>[시설요약] -밀폐형(탈취시설 없음) -수직형콤포스트기 설치하였으나 탈취시설 설치 전으로 운영 준비 -분리고형물은 톱밥 또는 수피 등 수분조절제를 이용하여 교반후 단순 저장 -퇴비사 내부에 개방형 집수조가 있어 냄새발생에 노출</p> <p>[악취분석] -NH₃: 1.47 ppm(퇴비사 내부) -NH₃: 7.79ppm(퇴비사 내부 개방형 집수조) -NH₃: 0ppm(퇴비사 외부)</p>	<p>[시설요약] -주발효조 밀폐형(탈취시설 없음) -액비저장조 밀폐형(탈취시설 없음) -지하식 집수조(1,000톤, 퇴비사 내 개방형)→고액분리→집중발효조(2,000톤, 밀폐)→액비저장조→위탁처리함.</p> <p>[악취분석] -NH₃: 200ppm 이상 (액비저장조 내부)</p>	-3개 농가(가족농장)가 공동 분뇨처리시설을 이용 -조사 당시 극비수기철로 저장조는 모두 약 95%이상 저장되어 있는 상태 -부지경계선 중심으로 3m 높이의 방취벽을 설치함. 방취벽의 4m 높이 부근에는 안개분무시설을 설치

다. 축산시설에서 사용되는 국내외 악취저감 기술 조사

1) 악취저감 기술의 원리 및 특징

- 축산시설에서 발생하는 악취의 발생원 및 특징은 매우 다양하므로 다양한 가용성의 냄새저감방법 수립 시에는 각 발생원 별 주요 악취 원인물질을 검토 할 필요가 있음.

<표 96> 축산악취 발생원 및 특징

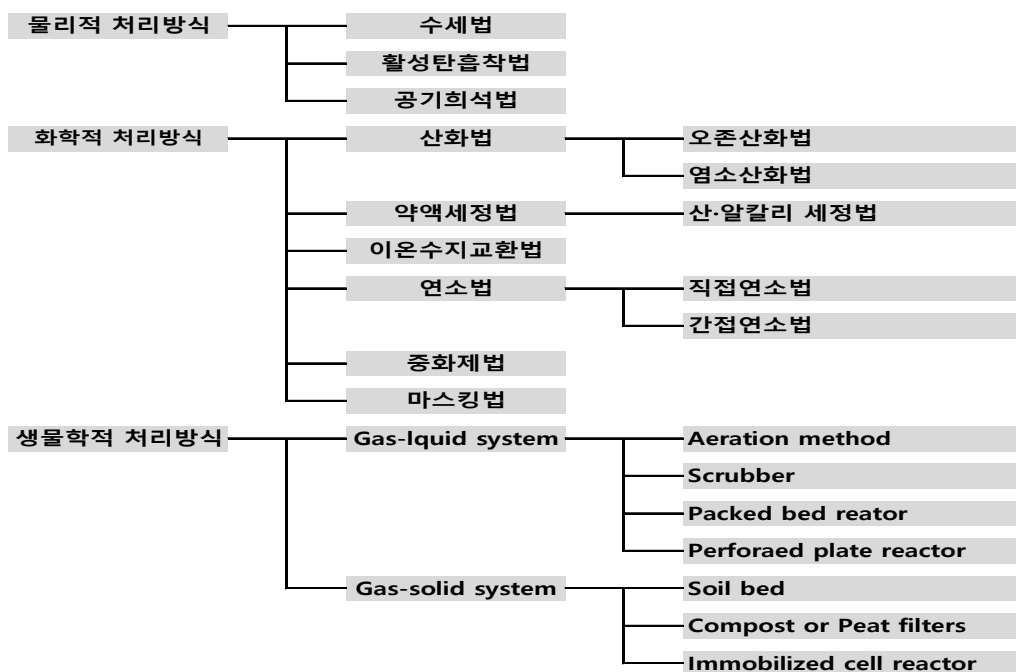
축산악취 발생원		악취 강도	주요 악취원인 물질
축사	가축	약	황화수소, 암모니아, 메틸메르캡탄, 트리메틸아민, 황화이메틸
	축사바닥	중	
	사료(배합)	약	
	분뇨	강	디메틸아민, 트리메틸아민, 젖산
	폐수배출구	중	
분뇨처리시설	분뇨운반장치	중	황화수소, 암모니아, 메틸메르캡탄, 트리메틸아민, 황화이메틸, 이황화이메틸
	건조시설	약~중	
	퇴비저장시설	약	
	폐수처리시설	약	황화수소, 암모니아, 메틸메르캡탄
	분뇨·오니처리장	중	황화수소, 암모니아
	고형분 건조기	강	암모니아, 디메틸아민, 젖산, 메틸메르캡탄, 트리메틸아민
	고형분 소각	약~강	암모니아, 디메틸아민, 메틸마르캡탄

자료) 광정훈(2016) 축산냄새 저감 기술. 2016년 한국동물자원과학회 춘계심포지엄 발표자료

- 냄새저감방법은 크게 물리적, 화학적, 생물학적 처리방식으로 구분되며, 일반적으로 널리 사용되는 방법은 활성탄흡착법, 약액세정법, 토양탈취법, 활성슬러지탈취법, 바이오필터 등임. 대표적인 탈취방법에 대한 원리 및 장단점은 다음과 같음.
- 흡착법은 악취물질은 활성탄, 이온교환수진 등에 흡착시켜 제거하는 방법임. 흡착제는 종류에 따라 산성계, 염기성계, 중성계로 구분될 수 있으며, 흡착제의 조합에 의해 다양한 악취가스에 적용이 가능하므로 탈취대상의 범위가 넓음. 또한 탈취효과가 높기 때문에 여타 방식과 조합처리 시 1차 처리된 잔존 취기의 제거방법으로서도 많이 적용되고 있음. 단, 분진 등을 함유한 가스에 대하여는 전처리가 필요하며, 고농도 취기에 대하여는 흡착능의 한계로 인해 흡착제의 사용기간이 단축되는 문제점이 있음.
- 약액세정법은 악취물질을 약품과 반응시켜서 중화반응에 의한 고정 및 산화분해에 의해 제거하는 방법임. 장치가 비교적 간단하며, 대개의 물질에 적용할 수 있다는 장점이 있으나,

설치 및 유지비가 고가이며, 일반적으로 장치의 부식의 심함. 특히 배수에 대한 2차 처리가 필요하다는 점 외에도 유입악취가스가 다양한 경우 여타의 처리방법과 조합해야 한다는 단점이 있음. 약액세정잡은 장치의 형태에 따라 입형과 횡형으로 구분됨.

- 토양탈취법은 악취물질을 토양층에 통과시켜서 간극수에 흡수, 토양자입자에 흡착, 토양미생물에 의한 생물화학적 분해 및 토양성분과의 화학반응에 의한 중화 등의 복합적 작용 및 효과에 의해 취기를 저감·제거하는 방법임. 토양탈취상은 운전비가 낮고 유지관리가 용이할 뿐만아니라 모든 악취에 대해 고농도의 취기까지 처리 가능하다는 장점이 있음. 그러나 높은 통기저항으로 인한 압력손실의 감소를 위해서는 넓은 토지면적이 필요하기 때문에 토양탈취상이 협소할 경우에는 처리풍량의 제한을 받으며, 토양공극의 폐쇄 가능성 및 강우 시 단락류가 발생될 가능성이 있음. 또한 추운 계절에는 동결방지에 대한 대책이 필요하다는 단점이 있음.
- 활성슬러지탈취법은 여러종류의 미생물이 폐수 중의 유기물을 영양원으로 받아들여 호기적으로 분해하는 것으로서 악취물질을 포기조에 넣어 넣어 포기조내 미생물을 이용하여 제거하는 방법임. 이 방법은 기존의 포기조를 이용하기 때문에 설치비가 적게 든다는 장점이 있으나, 잔존 취기가 있으므로 활성탄 등의 후속처리가 필요함. 압력손실이 크기 때문에 처리풍량이 제약을 받는다는 단점도 있음. 포기조탈취의 단점을 보완한 방법으로 활성슬러지 스크러버법이 있음. 이 방법은 반응탑 내에서 살수되는 활성슬러지와 악취물질을 접촉시키는 방법으로 대량의 처리가 가능하다는 장점이 있음. 단, 이 방법 역시 기액 접촉 시간이 짧기 때문에 난용성 악취물질의 제거율이 낮으며, 악취성분의 변동에 대한 대응력이 늦다는 단점이 있음.



<그림 84> 악취저감기술의 종류 및 분류

○ 그 이외의 냄새저감 기술의 원리, 특징과 적용조건 및 문제점은 다음 표에 나타냄.

<표 97> 악취저감 기술의 원리 및 특징

방법		원리	특징	문제점	
①	수세법	취기가스를 물에 용해시킴. 일정량의 물에 논는 취기성분의 양는 한계가 있음.	물에 용해되기 쉬운 취기가스에 적합함.	물과 가스와의 접촉이 양호해야 하며, 대량의 물이 필요함. 처리후의 배수대책도 필요함.	
②	연소법	고온연소법	취기가스를 700-800℃의 온도로 0.3-0.5초간 유지하여 산화분해 함.	높은 효과를 기대할 수 있음. 취기가스 농도가 높은 경우에 유리함.	화석연료의 소비량이 큼.
		저온연소법	취기가스의 촉매(백금, 팔라듐 등)를 이용하여 250-350℃에서 산화분해 함.	취기가스농도가 높은 경우에 유리함. 저온용 장치가 단순하여 필요 연료를 절감할 수 있음.	촉매제가 고가임.
③	흡착법	활성타, 실리카겔, 활성백토, 톱밥, 부식물질 등으로 취기물질을 흡착하여 제거함.	비교적 저농도 취기가스에 적용함.	취기성분의 일정량 흡착 후 효과가 없어짐. 재생이용은 비용이 높거나 곤란함.	
④	약액처리법	약액(묽은황산, 목초액), 알칼리액(가성소다) 등을 촉매로 하여 취기가스를 화학반응으로 제거함.	지방산, 아민류 등 물에 용해되기 쉬운 취기성분에 적합함.	화학반응 처리 후의 폐액 처리 대책이 필요함. 약품 비용이 소요됨.	
⑤	생물탈취법	퇴비탈취법	발효재료 중에 취기가스를 통과하여 미생물작용으로 취기성분을 무취화 함.	다른 방식에 비해 운전 비용이 저가임. 저농도 취기가스에 적합함.	발효재료 수분이 높고 통기성이 불량한 경우에는 부적합. 미생물의 작용은 토양 및 암면탈취법에 비해 낮음.
		토양탈취법 암면탈취법	화산재 토양, 암면(巖綿)탈취재료 등에 취기가스를 통과시켜 미생물 활동에 의해 무취화 함.	다른 방식에 비해 운전 비용이 저가임. 장치의 적정규모 확보로 고성능의 탈취가 가능함.	고온가스에는 부적합. 장치면적 규모는 크지만, 암면퇴취법 경우 토양탈취법의 1/3~1/5정도임.
		활성오니탈취법	활성오니를 촉매로하여 활성오니 중의 미생물작용에 의해 무취화 함.	저~고농도의 취기가스에 적용 가능. 오니 특유의 취기는 남아있음.	폭기조의 이용은 고농도가스에서 부적합. 활성오니정화시설이 필요함. 처리 후 오니의 처리대책이 필요함.
⑥	공기희석법	취기가스를 대량의 무취공기로 희석하여 인간의 후각에 감지되지 않도록 함.	비교적 저농도의 취기가스에 적합함.	대량의 무취공기가 필요하며, 현실적으로는 불가능함.	
⑦	마스킹법	향기성분을 취기가스에 섞어 인간의 후각에는 향기가 느껴지도록 함.	비교적 저농도의 취기가스에 적합함.	축산에서는 대량의 향기성분이 필요하게 되며, 운전 비용이 높음.	
⑧	오존산화법	오존을 이용한 취기가스의 산화분해를 통하여 무취화 함.	오존의 냄새에 따른 마스킹 효과도 있음. 유향계 취기성분에 효과적임.	오존의 농도에 따라서 호흡기 질환 등 위험요소가 있음.	

<표 98> 악취저감 기술의 적용조건 및 문제점

탈취방식	구조	적용조건	탈취특징	문제점 및 개선사항
토양 탈취법	토양을 이용한 생물탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 저~중농도 휘기성분 탈취 - 넓고, 평탄한 부지면적의 확보 - 표토의 동결지역 제외 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈취능력이 크고 안정적임. - 유지·보수가 용이함 - 운영비용이 비교적 저렴함 	<ul style="list-style-type: none"> - 토양 통기성의 개선과 부지면적의 축소가 필요 - 고온가스의 처리는 부적합 - 겨울철에는 탈취능력 저하 (생물탈취법 공통)
암면 탈취법	암면을 이용한 생물탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 저~중농도 휘기성분 탈취 - 부지면적이 비교적 좁은 조건에 적합 - 가스온도가 5℃ 이상일 것 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈취능력은 토양탈취법과 거의 동등함 - 통기성은 토양의 약1/5로 부지면적이 적음 - 운영비용은 토양탈취법 보다 저렴함 	<ul style="list-style-type: none"> - 암면탈취재료의 통기성 개선 필요 - 고온가스의 처리는 부적합 - 장치 규격화(표준화)와 양산에 따른 저비용화가 필요
퇴비 탈취법	퇴비를 이용한 생물탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 교반기 작동시 휘기성분 탈취 - 주거지역과 인접하지 않는 환경 - 교반시설이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 특별한 탈취장치를 필요로 하지 않고 간편함 - 장치가격, 운영비용이 저렴함 	<ul style="list-style-type: none"> - 흡입송풍기의 내구성 - 비교반시 악취 대책 - 수분이 높은 퇴비의 경우 통기저항 증가에 따른 탈취불량
피트모스 탈취법	섬유질 이탄을 이용한 생물탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 저농도 휘기성분 탈취 - 축사환기 등 대량 가스에 적합 - 다설(多雪)지역 제외 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈취장치 규모는 큼 - 장치·운영비용은 비교적 저렴함 	<ul style="list-style-type: none"> - 사전에 분진제거가 필요 - 장치에 살수가 필요 - 원활한 통기성 유지를 검토
툽밥 탈취법	툽밥을 이용한 흡착·수세 탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 저~고농도 휘기성분 탈취 - 밀폐형 발효장치의 배기 가스와 같은 적은 가스량에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> - 통기성이 양호 - 우수·살수에 의한 수세탈취 비용의 사례가 많음 - 시설비·운영비용이 비교적 저렴함 	<ul style="list-style-type: none"> - 빈번한 툽밥의 교체 - 배수처리의 검토
약액 부식물질 병용 탈취법	황산+부식물질(흡착) 병용탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 고농도 휘기의 탈취 - 황산폐액 처리가 가능할 것 	<ul style="list-style-type: none"> - 탈취시설의 콤팩트화 - 탈취능력이 비교적 우수함 	<ul style="list-style-type: none"> - 황산 등의 취급과 폐액의 처리 - 운영비용(탈취제 및 부식물질)이 비교적 높음
활성오니 탈취법	활성오니를 이용한 생물탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 저~중농도 휘기성분 탈취 - 오수처리시설이 있을 것 	<ul style="list-style-type: none"> - 완전 무취화는 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 정화처리와 반입취기 농도와의 관계(폭기식) - 활성오니 특유의 냄새가 잔존
오존 탈취법	오존+수세탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 저~중농도 휘기성분 탈취 - 오존 취급기술을 보유할 것 	<ul style="list-style-type: none"> - 오존 산화력으로 휘기성분을 분해 - 이온계 취기에 효과적 - 수세탈취와 병용가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 오존의 농도에 따라 호흡기 질환 우려가 있음 - 폐오존에 대한 대책 필요 - 암모니아 분해 능력이 약함

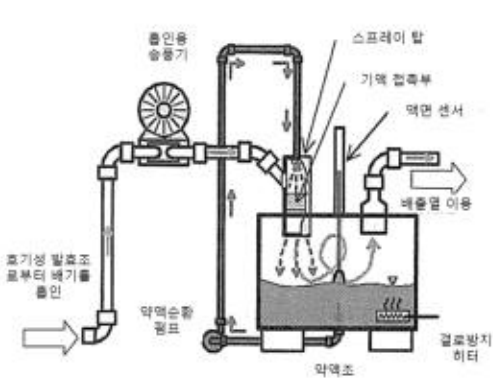

2) 일본, 미국, 유럽의 축산악취 방지 최적관리기법(BMP) 및 축산악취 저감 사례조사

○ 일본 (재)축산환경정비기구에서는 일본형 악취방지 최적관리기법(BMP)을 이용한 축산악취 민원경감 기술 개발 보급사업 추진 중 (2017~2019)에 있음. 해당 보고서에 수록된 내용은 다음과 같으며, 아래 표에는 축산악취 방지 최적관리기법에 대하여 요약하였음.

- 축사 등 악취 발생 억제 및 악취 민원 감소 기술 실증 사례
- 미스트 분무에 의한 먼지 저감 기술, 바이오 필터에 의한 악취 발생 억제 기술
- 가림벽 의한 악취 확산 방지 기술 등 다양한 기술을 조합 축사 등에서 발생하는 악취 저감 효과를 농가에서 실증
- 축사 등에서 발생하는 불편 냄새를 줄이기 위해 마스킹 자재 나 소독액의 효과를 판정
- 일본형 악취 방지 최적 관리 기법 우수 사례집 작성 보급 사업
- 일본형 악취 방지 최적 관리 기법을 활용 한 우수 사례
- 밀폐 수직 퇴비화 장치에 설치되어있는 기존의 탈취 장치를 조사 · 평가
- 상기 결과를 정리 기술자 및 생산자에 배포 하고 기술의 보급

<표 99> 일본형 악취방지 최적관리기법(BMP) 사례

탈취방법	세부내용	모식도
토양탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 토양탈취장치의 탈취용 토양의 퇴적 높이 50cm 정도 - 취기를 포함한 가스가 토양 층을 통과하는 걸 보기 풍속 5mm/초 정도 - 토양 하부의 정압(통기저항) 150~50mmH2O - 가스에 포함된 암모니아의 평균 농도를 200ppm정도 이하가 되도록 설계 - 토양 층에 유입하는 가스 온도는 40℃ 이하(평균 30℃ 이하), 하한치는 10℃ 이상 	
록울(Rock wool, 암면) 탈취	<ul style="list-style-type: none"> - 록울(암면)탈취 자재를 이용한 방법 - 탈취 능력은 토양 탈취 장치와 거의 비슷함 - 탈취 자재는 통기성에 매우 뛰어남 - 통기 저항은 토양의 1/4~1/5정도 낮음 → 탈취자재 3~5배 정도 퇴적가능 - 장치의 설치면적은 토양탈취장치보다 축소가 가능 - 토양보다 보수성은 낮아 5~10분/일 살수가 필요 	

<p>습식스크러버장치</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 흡입통기 방식의 퇴비화는 종래 방식에 비해 퇴비표면의 암모니아 휘산을 1/10~1/100정도로 억제 가능 - 퇴비로 흡입한 배기의 암모니아 농도는 1,000ppm 이상 될 경우도 있음 - 배기가스의 암모니아는 회수장치-사이클론스크러버로 회수(황산 또는 인산 이용) - 암모니아 회수액은 멜론 등의 수경 재배, 벼(사료용 벼)재배에 이용 	
<p>퇴비단 탈취</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 퇴비에는 악취를 흡착하는 능력을 보유하므로 탈취 자재로 이용 가능 - 퇴비화 초기 1~2주 암모니아 발생량이 많아, 그 암모니아를 완숙퇴비에 흡착시켜서 탈취 - 퇴비의 질소농도를 상승시키는 효과를 가짐 (완숙퇴비의 질소 1.7% → 6%) - 퇴비탈취는 뛰어난 탈취 방법인 동시에 비료 성분을 포함한 우량퇴비의 생산에도 연결됨 	

○ 구마모토 야마가시 바이오매스센터

- 원료투입시설: 에어커튼 및 개폐문으로 악취유출을 최소화함.
- 원료투입구: 흡인(음압)배기 및 에어커튼을 이용하며, 투입구 내부로 2중 구조의 흡인
- 액비저장조: 밀폐형 구조로 악취유출을 차단하고 배출 가스는 탈취탑으로 이동
- 퇴비화시설: 밀폐형 구조이며, 각 단계별(전처리 및 본처리)로 개폐문을 설치함. 흡인(음압) 통기방식을 채택함.
- 퇴비단탈취: 전처리퇴비화조에서 발생하는 가스(암모니아)를 후숙퇴비단을 이용한 탈취방법을 이용함(퇴비화과정에서 발생하는 암모니아가스를 후숙퇴비에 흡착하는 동시에 후숙퇴비의 질소농도를 상승시키는 효과를 가짐).
- 탈취탑: 시설 내(퇴·액비화)에서 발생하는 가스를 처리함.

○ 도치키현 유기물자원화센터

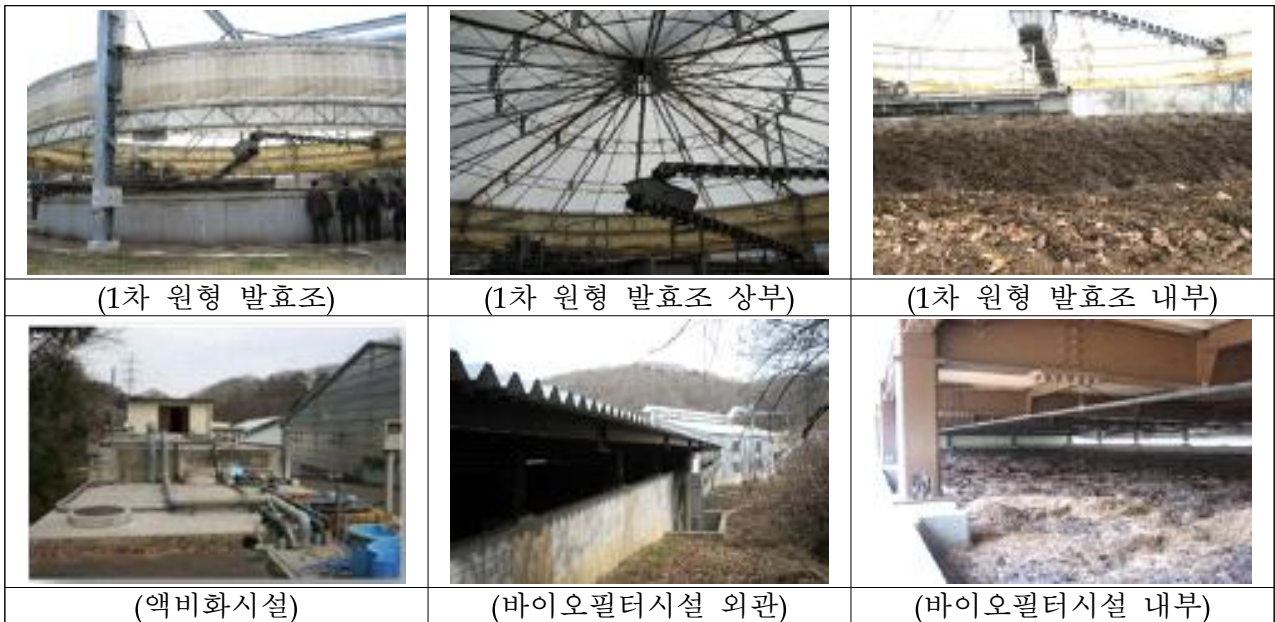
- 퇴비화시설: 1차 및 2차 처리로 구분하며, 각 처리시설에서 발생하는 가스를 음압배기하여 바이오필터 시설로 이송·처리함.
- 액비저장조: 밀폐형(지하식) 구조로 악취발생을 차단하고, 배출가스는 바이오필터 시설로 이송·처리함.
- 바이오필터시설: 톱밥·왕겨 등의 재료를 충전하고 미생물을 활성화 하여 배기가스를 바이오필터 장치로 통과하여 악취를 저감시킴

○ 치쿠조마치 유기액비센터

- 액비저장조: 밀폐형(지하식) 구조로 악취를 최소화 시키며, 배출되는 가스는 토양탈취시설로 이송·처리함. (액비의 부족한 인성분은 폐소화기로부터 회수하여 액비조에 첨가하고 인부족 현상을 해소함)
- 토양탈취시설: 밀폐화된 원수유입시설 및 고액분리시설과 액비저장조로부터 발생하는 악취 가스를 토양탈취시설로 이송·처리함.



<그림 85> 구마모토 야마가시 바이오매스센터의 퇴비단탈취 시설



<그림 86> 도치키현 유기물자원화센터의 바이오필터 시설



(밀폐형 액비저장조 외관)



(액비저장조 내부(유지보수 개폐문))



(원수유입 및 고액분리시설 외관)



(토양탈취 시설)

<그림 87> 치쿠조마치 유기액비센터의 토양탈취 시설

- 미국과 일본의 축산악취 방지 최적관리기법(BMP) 비교 및 미국 및 유럽에서의 양돈장 악취 관리 기술과 적용에 대하여 아래 표에 각각 정리하였음. 또한 대표적으로 제시된 악취저감 기술 사례에 대하여 국내 양돈농가 분뇨처리장에서의 적용 가능성에 대하여 평가하였음.

<표 100> 미국과 일본의 축산악취 방지 최적관리기법(BMP) 비교

미국 BMP문헌		① 미국농업생물공학회(ASABE)	② 아이오와주립대학	③ 네브래스카주 환경국	④ 전미돈육위원회
일본악취저감관리방법					
(1)축사	축사구조 (밀폐형/개방형) 청소 / 분뇨제거(관리) / 가축체 표면 / 부산물 / 분진 필터 / 오일스프레이 / 방풍벽 /방풍림 / 조경 / 사료급여 /셋백(setback)거리 / 첨가자재 /사료조제	a.분뇨 제거(수세, 스크레퍼 등) b.청결, 건조(가축체 표면, 바닥 등) c.분진과 악취물질 d.환기 원활, 분진제거 e.배기의 탈취장치 f.분진 없는 사료급여 g.셋백 거리 h.풍향 i.비육장 지표면의 분뇨수분 j.사료 조제 k.첨가 자재	a.악취물질은 분진으로 운반 b.분진발생방지 c.기계식필터 d.바이오필터(저비용) e.불투수성장벽(윈드브레이크·월, 방풍벽) f.오일스프레이(저비용) g.조정(투과성필터) h.사료조제(저단백사료, 박하, 보리발효사료)	a.바닥 청소, 건조, 분뇨의 혐기상태 방지 b.청소가능하고분진이쌓이지않는재질 c.분진발생방지 d.배기팬의청소,성능관리 e.첨가자재(ISU,NCSU등주립대의기준) f.분뇨의반출 g.오수는교반하지않음 h.방풍림 i.바이오매스필터 j.사료조제 k.오일스프레이	(1)배기 대책 a.악취를흡착한더스트필터에의한제거 b.바이오필터 c.굴뚝형환기구 d.윈드브레이크·월(방풍벽) (2)오일스프레이(제진) (3)조경(방풍림,재배완충대) (4)첨가자재 (5)사료조제(저단백사료)
(2)운반·저장·처리시설	고액분리 / 퇴비화 / 활성슬러지 법 / 혐기성소화(메탄발 효) / 커버(피복) / 에어레이션 / 첨가자재	a.건조 b.고액분리 c.소독·살균 d.에어레이션 e.혐기성소화법 f.퇴비화 g.커버(피복) h.혐기성라군(ASAE가이드라인) i.식수(조정) j.경관	a.불완전 혐기분해로 악취발생 b.고액분리 c.혐기성소화법 d.첨가자재 e.불투과성커버(덮개) f.투과성커버(덮개) g.에어레이션 h.퇴비화 i.건조하여분을저장	a.분뇨량에 맞는 시설 규모 b.혐기성라군 c.투입시에수장리 d.따뜻한계절에운전개시 e.항균제사용하지않음 f.지오멤브레인·커버 g.바이오커버 h.에어레이션 i.혐기소화법 j.고액분리 k.퇴비화처리	a. 첨가 자재
(3)살포	시용량 / 살포방법 / 살포시기	a.농지 시용량 b.양분관리계획 c.시비이후복토 d.소일인젝션 e.에어로졸발생방지 f.지표면근처살포 g.관개 h.시비시기(풍향,아침) (주말과 휴일 제외)	a.소일 인젝션 b.복토 c.관개 d.첨가자재 e.시비시기(단시간에회수, 계획 통보, 봄가을, 풍향, 낮) (휴일 제외)	a.저압으로 살포 b.지표면근처살포 c.오전8시~오후3시에살포 d.풍향 e.고온·고습, 주말휴일은살포금지 f.토양주입 g.셋백거리	-
(4)탈취방법·장치	필터 / 바이오필터 / 스크러버 /탈취제 / 활성슬러지법 / 오존	a.분진제거 필터 b.활성탄필터 c.건식,습식스크러버 d.흡수,탈취제 e.오존반응조 f.바이오필터	a.기계식 필터 b.바이오필터 c.조정(투과성필터)	a.바이오매스 필터 b.타산업악취저감기술적용(비용부담) (활성 슬러지 법, 오존 처리, 습식 스크러버 등)	a.분진제거 필터 b.바이오필터

<표 101> 미국 및 유럽에서의 양돈장 악취 관리 기술 별 특징 및 효율 문헌조사

Techniques	Methods	Description	Efficiency	Malodorous component reduction	Comments	Benefits	Difficulties	References
Diet modification	Low CP content diets and/or feed additives	Two protein - reduced diets tested with commercial diets for growing (35-65kg) and finishing (65-95 kg) pigs	Moderate to Low	9 out of 10 odorants reduces. CP: 14-21%; N: 13-19%; CP+syn. Amino acid: 41%; NH ₃ : 47-59%	Use of synthetic amino acids to reduce diet CP and cost is well established, and is a common industry practice; should be considered as a BMP	reduced excretion of excess nutrients such as N and thus can reduce manure NH ₃ releases.; CP diet can be used without effects on animal performance	diet manipulation effects on mitigating odor emissions are mixed; no specific range has been decided; depends on so many factors	Sutton et al., 1999; Lenis, 1993; Hobbs et. al., 1996; Kay and Lee, 1997.
Dust Reduction	Washing Walls/ Wet scrubbers	A wetted pad Evaporative cooling system is installed in a stud wall about 1.5m upwind of ventilation fans and downwind of hogs in a tunnel-ventilated building.	Moderate	Dust: up to 50% NH ₃ : up to 33%	Need treatment for wastewater; effectiveness on odor depends on solubility of odorants	There is a 50% reduction of dust and 33% of ammonia when the ventilation rate is low.	-	Botermans et al., 2010; Melse and Ogink, 2005; Estelles et al., 2011.
	Oil Sprinkling	Vegetable oil sprinkled daily at low levels in the animal facility	Low to moderate	Dust: 37-89%	Create slick flooring for pigs and people; health concern on oil misting	Effectively reduces dust and odor levels.	residue on the floor and pen partitions, which increases labor required for cleaning	Zhang et al., 1996; Lemay et al., 2000; Banhazi, 2005.
	Windbreak Walls	A wall made a tarp or other porous material placed 3-6 m from exhaust fans.	Moderate to high	Dust: 20-67%	Many odorous compounds are absorbed on dust particles	May reduce odor and dust emissions	Periodic cleaning of dust on walls is necessary for sustained odor control	Bottcher et al., 1998.
Air treatment	Ozonation	Powerful oxidizing agent, which is injected into the air in the production facility.	Moderate	Swine barn: up to 50%; Max tunnel vent: up to 58%; Exit fan: up to 63%.	reduced disease and mortality, improved growth and feed conversion efficiency are experimentally confirmed,	May have positive health effective	Effectiveness currently unproven.	Watkins et al., 1996; Keener et al., 1999; Bottcher et al., 2000.
	Biofiltration	Biochips, coconut, peat, bark-wood, pellet bark, compost; Bio-filter: Bedding was pine chaff and perlite mixed at 7:3 ratio with an initial moisture content of 65%(wb)	Moderate to high	H ₂ S: up to 88%; NH ₃ : up to 50%; Odor threshold: up to 81%	recommended operating conditions are: moisture of 40% to 65%, temperature of 25°C to 50°C, and media porosity of 40% to 60%	Effectively reduces odors and hydrogen sulfide emissions.	Requires replacing existing ventilation fans to put up increased pressure drop through filter.	Rahman and Borhan, 2012; Schmidt et al., 2004; Chen and Hoff, 2012; Sun et al., 2000; Chang et al., 2004; Nicolai and Lefers, 2006.
	Vegetative environmental buffers (VEB)	Rows of willow (h: 9m), jack pine and Eastern red cedar (h: 2-3.6m) trees surrounding the facility, VEB - trees, shrubs, grasses in with fan deflectors.	Low	Particle counts: up to 40%; Odorous compounds (VFAs, phenol & indole): 40-60%	Decreases direct visual viewing of facilities; may decrease natural ventilation in summer; requires planning and time.	VEBs work as a windbreak, reduce odor and dust as living bio-filters	Effectiveness and costs are highly variable and depend on site-specific design; lack of information on technical guidelines	Walter, 2010; Lin et al., 2006; Nicolai et al., 2010; Parker et al., 2012.

<표 101> 미국 및 유럽에서의 양돈장 악취 관리 기술 별 특징 및 효율 문헌조사(계속)

Techniques	Methods	Description	Efficiency	Malodorous component reduction	Comments	Benefits	Difficulties	References
Manure covers	Straw	Straw is blown over the surface of the manure storage.	Moderate to high	Thickness 200-250mm, NH ₃ : 65%; H ₂ S: 90%; Other malodorant: 75%	inexpensive compared to impermeable lagoon cover, adaptable, and immediately useable	Odor reduction	Temporary solution; straw sinks after a certain period.	Bicudo et al., 2002; Filson et al., 1996; Hudson et al., 2006.
	Plastic Cover	Several varieties of plastic can be placed over manure	-	Thickness 4.4mm, Odor: 0-76%	slow release of gases from storage	Reduce odor and hydrogen sulfide emissions.	Significant capital cost.	Clanton et al., 1999; Stenglein et al., 2011; Nicolai et al., 2002.
	Clay balls/ Leca rock	Floating clay balls, which are placed over manure	-	Thickness: 38-152mm, Odor: 60-80 % H ₂ S: 64-84%	-	Helps reduce odor and hydrogen sulfide emissions	Care must be taken during agitation and pumping; t capital cost.	Clanton et al., 1999; Jacobson et al., 1998 ; Sommer et al., 1993.
Manure treatment	Bedding	Dry carbon source added to animal pens to promote comfort and soak up manure	Low to moderate	Odor intensity: 16-63%	Carbon-based systems provides a bedding pack with the proper C/N ratio and physical structure by absorption, evaporation, and composting	Significant odor reduction; partial composting of bedding in place.	Must harvest or buy bedding and add it throughout the year; increased volume of manure to haul.	Brumm et al., 1997; Richard and Smits, 1998.
	Manure Additives	Chemical or biological products are added to the manure	Low to Moderate	Artificial spice: up to 60%; Essential oil: up to 80%	Effective in reducing certain odorants but their impact on overall odor emissions was questionable.	May reduce odor and ammonia emissions.	Odor reduction doubtful; may not achieve desirable results under field conditions.	Banhazi et al., 2009; Chastain, 1999; McCrery and Hobbs, 2001;
	Solid liquid separation	Separation of solid and liquid to remove a fraction of the odor-causing compounds from liquid waste stream.	Moderate	NS (non-significant)	A physical means to reduce odor by mechanical or gravitational separation; Efficiency is highly variable	Can reduce odor in liquid manure storage pits. Removing particles smaller than 0.25mm is suggested	Significant operational and capital costs. Requires management of the solid waste fraction	Szögi and Vanotti, 2007; Powers, 2009; Kroodsmä, 1985.
	Composting	Biological process where aerobic bacterial convert organic material into a stable, odor-free, material	Low	N ₂ O emissions: 0-7% (avg 4.8%); CH ₄ : 0.6-1.3% (avg 0.9%); C: 0-9.7% (avg 1.6%).	-	Reduces organic matter as well as odor.	Significant capital and operating costs.	Fukumoto et al., 2003; Thorman et al., 2007; Eghball and Power (1999); Rudrum (2005); Van Dooren et al. 2005.
	Aerobic treatment	Biological process where organic matter is oxidized by Aerobic bacteria	Moderate to high	Odor: 50-90% H ₂ S: 10-70% NH ₃ : 20-77% VFA : 0-90.2%	Effective to treating manure to achieve solids decomposition and odor control by inhibiting VFA accretion and other odor generating compounds.	Effectively reduces odor, nutrients and organic matter.	Significant capital and operating costs.	Williams et al., 1989; Williams, 1984; Burton et al., 1998; Westerman et al., 1997; Zhang et al., 2004; Lee and Lee 2000; Lee and Cha 2003.
	Anaerobic treatment lagoon	Biological process where organic carbon is converted to methane by anaerobic bacteria.	Moderate to high	VFA: 79-97%, NH ₃ (volatilization): up to 22%; Odor intensity: up to 50%	digestion of only swine manure was not very promising due to high content of NH ₃	Reduces nutrients and odor.	Can cause odor releases when weather changes - spring/fall; requires higher energy; not very cost effective	Hansen et al., 1998; Powers et al., 1999; Zhang et al., 2000.

<표 102> 악취저감기술의 양돈농가 분뇨처리장에서의 적용 가능성

악취저감기술 (물리·화학·생물학적 처리)	고액분리시설		퇴비화시설		액비화시설		외부 탈취처리
	개방	밀폐	퇴적	교반	발효조	저장조	
밀폐, 음압 장치	-	○	○	○	○	○	○
3차 다단형 포집 설비	-	○	○	○	-	-	○
오일 스프레이/ 물(안개) 분무 방식	△	○	○	○	-	-	-
커버링 시설	○	-	○	-	-	○	-
이온수	-	-	-	-	-	-	○
연소방식	-	-	-	-	-	-	-
바이오커튼	-	-	-	-	-	-	-
바이오트리클링/습식세정식(터널)	-	△	△	△	△	△	○
오존/염소	○	○	○	○	○	○	○
흡식 산세정	○	○	△	△	△	△	○
포기처리방식(고산소 용해)	-	○	○	○	○	○	○
활성오니방식	-	○	-	-	△	△	○
탈취자재(미생물제)	○	△	○	○	○	○	○
바이오필터	-	○	○	○	○	○	○
퇴비 탈취장치	-	○	○	○	○	○	○
토양 탈취	-	○	○	○	○	○	○
액상분뇨 전처리	○	○	○	○	○	○	-
협기소화 방식	○	○	-	-	○	○	-

3) 국내 악취저감 기술 사례조사

- 악취저감 기술로서는 언급한 바와 같이 물리적·화학적·생물학적 방법 등 여러 가지가 있음. 그러나 악취 성분이 다양하고, 악취원의 농도가 매우 낮아도 후각에는 감지되므로 이를 제거하기 위한 장치가 매우 커지거나 유지비가 막대할 경우 특정 장치형 시설의 적용은 농민들이 채택하지 않아서 비현실적이라 할 수 있음((사)한국냄새환경학회, 2015).
- 국내 양돈농가에서 사용되고 있는 악취저감 시설은 탈취탑(스크러버 등), 안개분무시설, 바이오필터 등이 가장 대표적임. 각각의 악취저감기술에 관한 관련 업체의 기술개요 및 분뇨처리장에 있어서의 적용성과 고려사항에 대하여 다음 표에 나타냄.

<표 103> 국내 양돈농가 분뇨처리장 악취저감 기술 사례조사

악취저감 기술	기술개요	적용가능 단계(시설)			고려사항
		고액분리	퇴비화	액비화	
탈취탑	<ul style="list-style-type: none"> - 악취가스를 담체에 통과시키고, 물 혹은 약품을 반응기 상단에서 스프레이함. 생물 혹은 화학적 작용에 의해 악취물질이 분해됨. - (0社) 세정과정 및 고분자필터를 적용하여 총 4단계(1차 먼지제거, 2,3차 물세정으로 악취제거, 4차 필터)로 이루어져 악취를 저감 - (0社) 미세공기방울 분산장치를 통하여 잘게 분쇄하고 물에 악취유발물질을 흡수하여 제거함 전처리시설로 흡수탑 내부로 유입되는 관로에 물을 분사하여 분진을 제거 - (0社) SBR공법을 적용한 생물반응조형태의 운전. 이젝터 (기액혼합)기술과 볼텍스디퓨징(와류형성) 및 활성탄과 제올라이트 흡착기술을 접목하여 미세분·복합악취 제거 	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> - 물과 가스와의 접촉이 양호해야 함. - 대량의 물이 필요 - 배수 대책 필요 - 약액처리 시 화학 반응 처리 후 폐액 처리 대책 필요 - 설치비 비교적 고가이며, 약품비용이 소요됨 - 대상시설을 밀폐화하여 배출가스를 흡인해야함.
안개분무 (물, 이산화염소 등)	<ul style="list-style-type: none"> - (0社) 극초미립자 기화방식으로 200평 공간을 2~3분안에 안개(안개분무 4um)로 가득 채움. 연소(연막, 훈연) 에 의한 기화방식이 아니므로 약성에 큰 영향을 주지 않음. - (0社) 미세안개 발생 전용노즐이용으로 평균 4um의 미세안개입자를 생성하며, 공간에서 충분한 시간동안 반응하고 퇴비사 등의 분진을 바닥으로 가라앉혀 처리함. - 이산화염소: 이산화염소의 장점은 유기물을 산화시키지 않음. 산소계 살균소독제로 염소계(락스류) 보다 산화력이 약 2.5배 강함. 바이러스 및 녹조류 제거에 넓은 pH영역(2~10)에서 살균력 발휘 	△	○	-	<ul style="list-style-type: none"> - 물과 가스(분진)와의 접촉이 양호해야 하고, 대량의 물이 필요 - 밀폐된 공간에서 환기 등 바람의 영향이 없어야 효과적임 - 퇴비단이 젖을 우려가 있음 - 비교적 저렴하며 다양한 액상제제가 활용가능
바이오필터	<ul style="list-style-type: none"> - 악취가스를 필터에 통과시켜 미생물에 의해 악취물질들을 산화하여 제거하는 방법. 악취가스를 퇴비, 우드칩, 세라믹 등과 같은 담체에 통과시키면서 생물작용에 의해 악취물질이 분해됨. 	△	△	○	<ul style="list-style-type: none"> - 압력손실로 인해 특수 fan설치가 요구되는 경우 있음 - 설치비가 비교적 저렴하나, 충전재(담체)의 정기적 교체 필요
기능성 차단막	<ul style="list-style-type: none"> - (0社) 폴리에스테르 평직에 염화비닐수지(PVC)로 코팅한 수지 내 2종류의 소취제(활성탄과 천연광물질)를 삽입. 냄새물질이 기능성차단막 표면과 접촉 시 흡착 및 분해 작용을 함. 수지면은 물세척이 가능하며, 강산·강알칼리에 장기간 노출 시 변질가능하나 성능 저하되지 않음. 방염가공 및 항균효과로 잡균의 번식을 방지함. 	△	○	△	<ul style="list-style-type: none"> - 저농도 가스에 적합하며, 설치가 용이함. - 악취저감시설 이후 2차 악취발생이 우려될 경우 대해 비교적 저비용으로 관리 가능



(축산농가에 적용된 탈취탑)



(온사 배기환에 적용된 안개분무)



(이동식 안개(연무)분무)



(퇴비화시설에 적용된 바이오필터)



(액비화시설에 적용된 바이오필터)



(기능성차단막을 이용한 퇴비화시설 활용)



<그림 88> 국내 양돈농가 분뇨처리장 악취저감 기술 사례조사

라. 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 평가지표 및 분뇨처리 공정별 악취관리 매뉴얼

1) 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 평가지표 및 악취관리 매뉴얼 개념 도출

- 돈사시설에서 발생하는 냄새물질은 사료의 종류, 사양관리, 돈사구조, 온습도 환경, 분뇨처리 방법에 따라 매우 다양하게 나타나고 있음. 악취는 암모니아, 황화합물류, 휘발성지방산류, 페놀류, 인돌류, 휘발성아민류 및 그밖의 자극성이 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새이며, 이중 암모니아와 황화수소가 분뇨처리장을 포함한 양돈시설에서의 대표적인 악취물질임.
- 돈사시설이나 및 분뇨처리시설에서 발생하는 악취물질은 돼지 생체에서 약 40종 이상이 생성되며, 분뇨를 저장하거나 처리하는 과정 중에서 10종 이상이 생성된다고 보고되고 있으며, Mackie(1994)에 의하면 돈사 내 피트에서 돈분뇨가 혐기적 환경아래 미생물에 의해 분해되면서 발생하는 악취물은 168가지에 이른다는 연구 결과도 있음((사)한국냄새환경학회, 2015).
- 축산시설에서 발생하는 악취관리 평가지표 및 분뇨처리 공정별 악취관리 매뉴얼 개발은 단연 축산업 종사 농민들과 일반인과의 악취 인식 차이와 이로 인한 갈등(민원) 해소를 위함임.
 - 돈사시설에서 발생하는 악취문제로 일반인들의 불평과 불쾌감 표시 민원은 날로 증가하고 있는 실정임. 이에 따라 양돈장에서 악취문제는 또 하나의 환경문제로 해결을 해야 되는 주요 사안으로 자리 잡고 있음. 한편 이제는 농촌마을 주민이라 하더라도 양돈장에서 발생하는 악취를 인내하지 않는 경향 때문에 향후 관련 민원은 더욱 증가할 것으로 예상됨.
 - 그러나 양돈산업이 우리사회에 미치는 공익적 기능과 사회적인 기여도까지 무시되어서는 안되며, 축산 악취문제는 어느 특정 그룹만의 문제가 아닌 우리 전체의 문제로 받아들이고 문제해결을 위한 대책을 강구해야 함(연암대학교, 2017).
- 그동안 축산농민 대부분은 축산시설에서 발생하는 냄새의 생성 및 저감·제거 과정에 대한 이해가 부족한 실정으로 방치되어왔으나 최근 부적정 분뇨처리에 의한 환경오염 문제, 축산 악취 관련 환경분쟁사건 등이 이슈화되면서 축산농가 내부로부터 축산악취에 대한 인식개선과 저감 노력에 힘쓰고 있음.
 - 개별축산농가의 축산냄새 발생 문제점은 가축 밀집사육, 분뇨 발생원 단계(돈사 슬러리 피트) 관리 부족, 개방형 분뇨처리 시설 운영, 퇴·액비에 대한 품질 인식 부족 및 부분별 살포 등이며, 최근 원인자 책임 원칙에 근거하여 환경규제 및 법규가 강화되고 있는 실정임.
 - 행정상의 문제점은 가축(축산업)과 가축분뇨의 이원화된 행정체계, 가축분뇨 관련법의 이원화 및 공공처리시설과 공동자원화시설의 시설용량(또는 운영기술) 부족 등임.
- 현장조사결과 양돈농가에서의 냄새관리 및 저감에 대한 기본적인 관리 방향은 다음과 같음.
 - 축사 내외부 청소 및 청결 유지
 - 적정사육두수 규모 유지
 - 생균제 이용
 - 첨가제 등 약품처리

- 필터, 환풍시설 등 악취방지 시설을 설치
 - 분뇨 처리시설 증대 및 개선
 - 분뇨처리장 덮개 설치(밀폐화)
 - 축사 조정(방풍림 및 방진벽)
- 앞서 언급한 바와 같이 양돈시설에서 발생하는 악취물질은 매우 다양할 뿐만 아니라 국내 대부분의 양돈분뇨 처리시설이 개방형으로 운영됨에 따라 면오염원의 배출형태로서 포집·처리하기 어려운 특성을 갖고 있음.
- 따라서 특정 한 가지의 방법 또는 기술로는 양돈시설에서 발생하는 악취를 제어하기 어려움. 양돈시설의 악취를 관리하는 방법으로서 단연 가장 중요한 것은 냄새물질을 제어하기 위한 돈사 내부에서부터의 사전 관리 작업임. 돈사구조·형태에 따른 돈사내부 청소 및 청결 유지, 적정 사육밀도 유지, 특히 돈사 피트 내 슬러리의 신속배출에 따른 부패방지 관리가 중점관리 영역임. 돈사 내부부터의 중점관리 영역을 철저히 인식한 후에는 시각적 냄새관리와 후각적 냄새관리 방향을 검토함.
- 시각적 축산 냄새관리
- 돈사내부(바닥 등) 청결 및 건조 상태 유지
 - 사료급이통 주변 청소
 - 분뇨이송관로 밀폐 및 운영 중 분뇨유출 방지
 - 톱밥축사 깔짚 유출금지
 - 파리 해충 구제
 - 농기구 정리정돈
 - 분뇨처리장 청결 관리
 - 퇴비화시설, 액비화시설 정상가동
 - 축사주변 제초작업
 - 축사주변 경관(꽃, 나무)조성
- 후각적 축산 냄새관리
- 돈사내부 냄새원인(돼지 청결상태) 저감
 - 슬러리 피트 내 분뇨관리(신속배출, 침전물 방지, 생균제 투여)
 - 사료급여(생육단계별 적정 사료) 및 관리방법 개선
 - 돈사 내·외부 적정 악취방지 시설 설치(분진제어, 습식세정, 바이오필터, 바이오커튼 등)
 - 슬러리 이송라인 밀폐화
 - 고액분리시설, 집수시설, 퇴비화시설, 액비화시설 밀폐화
 - 분뇨처리시설 밀폐화 연계 강제 환기 및 악취방지 시설 설치
 - 퇴비화시설, 액비화시설 정상가동 및 퇴·액비 품질관리(운영매뉴얼)
 - 연중 악취방지 시설 가동 효율 검토

- 즉, 양돈농가 분뇨처리장의 악취관리는 돈사 내부부터의 중점관리 영역을 철저히 제어한 후 분뇨처리장에서의 각 공정별 악취 발생원 추적·관리, 악취발생물질의 규명, 악취발생량의 모니터링, 밀폐화 관리, 악취 포집·이송 관리, 최종 탈취처리 선정 및 운영 등의 순서로 전개되어야 함. 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 평가지표 및 악취관리 매뉴얼(안) 도출에 있어 탈취기술 적용 시 고려사항에 대하여는 일본 환경성(2003) 「탈취기술 적용 안내서」의 내용을 일부 인용함.

<표 104> 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 평가지표의 개념 도출

분뇨처리 호름 (단계)	돈사 내외부	분뇨처리시설 악취 발생원 관리								방진벽, 조경 등
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		집수조	고액분리	퇴비화 시설	액비화 시설	액비 저장조	악취포집	악취저감 기술적용	퇴·액비 반출	
분뇨 처리 시설 악취 관리 평가 지표 개념 도출	a. 현황조사(공통 기본사항) 및 악취저감시설 외 일반 악취관리 운영 검토 - 농가의 일반현황 및 사육현황, 분뇨처리방식(시설), 기존 적용 악취저감시설 등 - 주변환경(지형, 부지경계선, 인접 민가까지의 거리 등) - 분뇨이송관리 밀폐									
	b. 악취발생원 추적 - 농가에서 발생하는 가축분뇨의 관리 전 과정에 대한 조사									
	c. 악취발생원별 발생 악취물질의 특성 파악 - 각 악취발생원으로부터 발생하는 악취물질의 분류 및 특성 조사									
	d. 악취발생량 모니터링 - 주요 악취물질의 모니터링을 통한 저감방안 탐색									
	e. 악취 발생원인 파악 - 각 악취발생원별 악취발생 원인 규명									
	f. 악취저감 목표의 설정 (악취저감 및 억제 방안 모색) - 시각적 냄새관리: 분뇨처리시설 정상가동 및 청결 유지 등 - 후각적 냄새관리: 피트슬러리 신속배출(부패방지), 분뇨 이송관 및 저장조 밀폐화, 퇴·액비화시설 밀폐화(또는 밀폐화에 상응하는 냄새저감 방법) 및 적용 가능한 악취저감장치 연계 - 악취저감 목표의 설정: 탈취 전후 악취원인 물질 농도									
	g. 악취물질의 포집 및 이송 - 악취발생원에 적정 밀폐화(시설 용적 최소화) 시설 구축 및 흡입구와 강제 환기구를 설치 - 통기저항을 고려한 송풍(또는 음압시설)장치 선정, 악취의 포집 및 탈취장치로 이송									
	h. 악취저감 기술 적용(탈취장치의 도입) - 분뇨처리 공정별 물리적, 화학적, 생물학적 처리 등 탈취방법의 선정 - 처리 대상 악취의 성상(가스배출량, 온도, 성분 등) 파악 - 경제성, 설치장소, 관리 용이성 등									
	i. 악취저감기술 적용 전후 악취처리효율 비교평가 - 탈취효과 확인 (악취저감 목표 달성 여부) - 효율저하 원인규명, 일상·정기 점검, 적정 가동시간 및 유지관리, 적정 약제 사용 - 처리기술의 악취발생량 현장모니터링 확인 작업									
	j. 각 분뇨처리 공정별 적용기술의 비교 - 기술성, 환경성, 경제성 평가 비교									
	k. 선정된 적용기술 및 방법의 매뉴얼 최적화 - 설계기술, 유지기술, 운전방법, 처리기술, 장치구축, 위생기술, 안전기술 등									

(1) 현황조사 및 악취발생원 특성 평가

- 농가현황, 분뇨처리 및 반출방식
- 주변지형 및 환경요소(풍빈도)
- 악취발생원에서 부지경계 및 밀집 주거지까지의 거리
- 분뇨발생량 대비 분뇨처리시설 용량 현황
- 사체 발생량 및 처리방식 현황
- 음수 및 사료용 환경개선제 사용현황
- 기존 악취저감기술 적용 현황
- 악취 발생원, 발생량, 물질특성 및 원인 파악
- 악취저감 목표 기준(악취물질 농도 및 부지경계 법적 기준)

(2) 일반 악취관리 운영 평가(장치·시설 외)

- 돈사로부터 신속한 분뇨의 수거 및 분리배출 여부
- 슬러리 피트 등 미생물 및 환경개선제 투입 여부
- 분뇨이송관로 노출 여부
- 분뇨처리시설 정상 가동 여부
- 분뇨처리시설 주변 청결관리 유지 여부

(3) 악취물질의 포집 및 이송관리 평가

- 악취발생원의 적정 밀폐화 여부
(※액비순환시스템 등 적용으로 밀폐화가 고려되지 않을 경우, 별도 검토)
- 흡입구와 환기구 등 적정 설치 여부
- 탈취량을 고려한 송풍기 및 후드 적정 설치 여부

(4) 악취저감기술 운영 평가

- 악취 원인물질 특성에 따른 적정 기술 선정 여부
- 악취저감기술의 정상 가동 여부
- 약품 등의 적정 사용 및 폐액처리 여부
- 악취저감기술의 적용 시 악취저감 효율 평가
- 적정 유지관리(점검항목, 보수 및 교환 등) 여부
- 점검 항목 및 빈도 등 기록 여부
- 이상 시 비상대책 매뉴얼 보유 여부
- 경제성 평가(설비비, 운전비 등)

■ 양돈농가 악취관리 매뉴얼

- 농가 환경에 적합한 자체 악취저감 매뉴얼 운영

<그림 89> 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 평가지표 모식도

2) 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 평가지표 및 악취관리 매뉴얼(안) 도출

① 현황조사 및 악취발생원 특성 평가

- 악취저감 대책에는 악취발생을 미연에 방지하려는 노력과 현황조사가 중요함. 효과적이고 경제적인 악취저감 방법과 기술 도입을 위해서는 악취발생원의 특성 및 주변 환경이나 제약 조건 등을 점검 및 파악할 필요가 있음.
- 악취가 집중적으로 발생하기 쉬운 국지적 기상 상황, 지형, 주택 밀집도, 병원, 학교, 각종 점포 및 도로 등의 존재 등을 확인함. 또한, 지역 고유의 풍계에 따라서 악취민원이 발생하기 쉬운 시간대에 고농도 악취의 확산이 집중되는 방향이 있을 수 있으므로, 주변 환경을 고려하여 환풍구나 가스 배출관 등의 위치 등을 점검하여야 함.
 - 특히, 악취저감 대책이 주변 지역의 환경보전을 위해 필요하다고 인정되는 경우나 지속적인 악취민원이 발생하는 경우에는 더욱 적절한 방안을 마련 해야함. 악취발생원의 특성, 악취 발생 영향권 범위 예측, 일반 주택과의 거리, 지형적 조건, 풍빈도 등의 자료를 수집하고 종합적 검토 및 적절한 악취저감 목표를 설정함.
- 분뇨처리시설에서의 악취발생원은 크게 집수조, 고액분리시설, 퇴비화시설, 액비화시설, 액비저장조로 나눌 수 있으며, 각 공정별 악취 성분의 농도 및 발생량, 시간 및 계절별 변화 특성, 분진 등의 포함 여부 등을 파악하여야 함. 그 밖에도 사육규모 및 형태, 돈사구조, 배분구조, 분뇨발생량 대비 분뇨처리시설 용량 현황, 사체 발생량 및 처리방식 현황 등 일반적인 농가현황과 함께 음수 및 사료용 환경개선제 사용현황 등 첨가제에 의한 사전 악취저감 방법 적용 파악도 기본 조사항목 임.

② 일반 악취관리 운영 평가(장치·시설 외)

- 악취저감 대책의 기본은 발생원에서 최대한 악취를 발생시키지 않도록 관리하는 것에서부터 시작함. 양돈분뇨의 처리는 돈사에서부터 일련의 과정으로 이루어지므로 돈사형태 및 배분구조, 돈사로부터 신속한 분뇨의 수거 및 분리배출 여부, 슬러리 피트 등 미생물 및 환경개선제 투입 여부 등의 파악이 중요함.
- 악취발생을 억제하기 위한 일반 악취관리 운영이란, 악취저감장치나(포집 및 처리) 시설 이외에 실행 가능한 모든 행위들을 말함. 즉, 돈사로부터 신속한 분뇨의 수거 및 분리배출, 슬러리 피트 등 미생물 및 환경개선제 투입, 분뇨이송관로의 밀폐, 분뇨처리시설의 정상 가동, 퇴·액비화 시 발효 촉진 미생물 투입, 분뇨처리시설 주변의 청결한 유지관리 등임.
 - 노후된 분뇨이송관로의 밀폐화나 단위시설의 개보수, 집수조나 액비화시설에서의 맨홀의 경우 적당한 뚜껑의 설치, 적체된 퇴비단에 비닐시트 피복 등 간단한 정비만 해주는 것으로도 냄새의 확산을 저감시킬 수 있으며, 후단의 악취 포집 및 탈취장치의 처리 효율을 높일 수 있음.

③ 악취물질의 포집 및 이송

- 악취의 탈취 대책을 실시하려면, 발생한 악취를 발생원에서 외부로 확산시키지 않도록 할 필요가 있으며, 이를 위해서는 악취발생원에서 적절한 밀폐화 시설 구축하고 악취가 외부로 확산되지 않도록 해야 함.
 - 밀폐화 후에는 흡입구와 강제 환기구를 설치하여 악취를 포집한 후 탈취장치로 이송함. 악취의 포집 및 환기량은 밀폐화 시설 용적에 비례하므로 내 용적이 커지면 환기량도 많아짐. 탈취장치는 탈취해야 하는 발생원의 환기량이 많아질수록 장비 규모가 커지고 운영비가 높아지기 때문에 가장 효율적인 환기량으로 검토해야 하며, 탈취장치의 통기 저항을 고려하여 송풍장치 선정함.
 - 발생원의 악취를 환기하는 강제 환기구는 신선한 공기의 유입구와 가장 떨어진 위치에 설치하고, 맑은 공기 유입에 의한 내부 공기의 교체, 즉 밀폐화 공간 내 악취성분이 충분히 환기되도록 함. 밀폐화에 있어서는 시설 부피를 줄이는 데 유의하고 있는 불필요한 환기 공기를 투입하지 않도록 하며, 이송배관의 부식이나 누출의 여부를 상시 점검해야 함.
- 밀폐화시설에서 악취를 포함한 공기는 송풍시설 이용해서 배관을 통해 탈취장치로 이송 및 처리되며, 이때의 운전비용은 송풍시설의 전기비가 대부분임. 송풍시설은 같은 풍량을 다룰 경우, 송풍기의 축 동력은 탈취장치의 통기저항에 비례하므로 운전비용의 저감화를 위해서는 탈취장치(내부압력, 탈취자재, 충전재 등) 선정 시 악취저감 목표에 부합하면서도 통기저항이 작은 것을 선택할 필요가 있음.
 - 일반적으로 축사 등의 환기에 사용되는 축류형 팬(환풍기)은 필요한 압력을 얻을 수 없기 때문에 통상은 원심형 터보팬이 사용됨. 송풍시설의 선정 시에는 최대 정압, 최대 유량을 검토하고, 탈취장치 타입 및 전체의 배치를 고려하여 사용할 목적에 부합하는 송풍장치를 선정함.

④ 악취저감기술 운영 평가

- 악취저감기술의 선정 시에는 그 범위와 및 고려사항으로 ①악취발생을 억제하기 위한 일반 악취관리 운영, ②효과적인 악취의 포집, ③악취발생원 및 원인물질을 고려한 악취저감기술의 선정, ④악취저감기술의 운영 및 유지관리 등이며, 농가 현황조사 및 악취발생원 특성 평가를 포함하여 통합적으로 검토되어야 함. 악취저감시설의 선정 시에는 탈취 효율의 목표치, 설치 공간의 확보, 사용전력 및 약품비 등의 운전비용, 탈취장치에서 폐액이 발생하는 경우 등 기타의 제약 조건을 파악해야 함.
 - 악취발생원(집수조, 고액분리시설, 퇴비화시설, 액비화시설, 액비저장조 등)
 - 분뇨처리시설의 운전조건
 - 시간 및 계절별 변화에 따른 악취물질 특성, 농도, 배출량, 온·습도, 기타 분진 함유 등
 - 악취발생원별 밀폐화 시설의 내용적
 - 악취포집량에 따른 송풍시설 설계 및 구축
 - 악취저감기술 별 탈취효율 특성 검토
 - 농가 환경에 적합한 악취저감기술의 선정

- 소요 전력량 및 약품량(또는 충전재의 교체주기), 용수 및 배수(폐액처리) 조건
 - 유지관리 방안 및 비상대책 매뉴얼
- 종류별 악취저감기술에 대한 각각의 탈취 메커니즘 및 제약조건 등을 파악하는 것은 매우 중요함. 탈취 원리를 충분히 이해하고 효율적인 악취 제거방법을 모색하는 과정이 무엇보다 중요하며 이를 기반으로 농가 환경에 가장 적합한 악취저감기술을 선정함.
- 예로서 생물탈취기술은 미생물의 작용을 이용을 통해 악취물질을 분해 제거하는 방법이므로 미생물이 활성화 살 수 있는 상태를 유지하는 것이 필요조건이 됨. 따라서 온도 범위는 10~40°C가 적정하며, 생물학적 유해성분이 포함되지 않아야 하고, 미생물의 생육에 필수적인 수분 공급이 필요함.
- 악취저감기술 중에는 악취물질의 종류뿐만 아니라 고농도 악취 또는 중~저농도 악취에 적합한 기술이 있으므로 이를 고려해야 함. 일반적으로 각 악취저감기술에는 악취성분의 종류별로 제거 효율이 다르기 때문에 다양한 성분으로 구성된 복합악취에 대해서는 2가지 이상의 저감기술을 혼합하여 대응하는 경우가 많음. 또한 고농도 악취에 대해서는 적정방법으로 최대한 저감시켜, 최종적으로 중~저 농도의 악취물질을 처리하는 시스템 도입의 경우도 많음.
- 악취저감기술에는 물리적·화학적·생물학적 방법 등 여러 가지가 있으나, 기술의 적용 시 가용공간의 면적이 부족한 국내 대부분의 양돈농가 여건상 토양탈취법 등 특정 기술의 경우 농민들이 채택하지 않아서 비현실적임. 국내 양돈농가 분뇨처리시설에서 대표적으로 이용되고 있는 악취저감기술은 탈취탑(물과 약액 이용 스크러버 또는 담체나 필터 등을 혼합), 안바이오필터, 안개분무시설 등 임.
- 탈취탑(스크러버)은 물 또는 약품을 반응기 상단에서 분무하여 기액이 접촉하는 동안 화학적 작용에 의해 악취물질을 흡수 및 제거하는 방법임. 이 방법은 기본적으로 악취발생원을 밀폐화하여 악취가스를 흡인해야 함. 물과 가스와의 접촉이 양호해야 하며, 대량의 물이 필요하므로 별도의 배수 대책도 필요함. 특히 약액처리 시 화학반응 처리 후 발생하는 폐액을 적정한 방법으로 처리해야함. 설치비가 비교적 고가이며, 약품비용 및 폐수처리 비용이 소요됨. 본 악취저감기술은 밀폐화된 집수조, 고액분리시설, 퇴비화시설, 액비화시설, 액비저장조에서 연계가 가능함.
- 바이오필터는 악취가스를 필터에 통과시켜 미생물에 의해 악취 물질들을 산화·분해하는 방법이며, 일반적으로 중~저농도의 악취가스 처리에 적용됨. 악취가스를 퇴비, 우드칩, 세라믹 등과 같은 담체에 통과시키면서 생물작용에 의해 악취물질이 분해됨. 통기저항이나 압력손실로 인해 특수한 웅(송풍시설) 설치가 요구되는 경우 있음. 시스템의 설치비가 비교적 저렴하고 운전이 용이하며, 폐수가 발생되지 않으나 충전재(담체)의 정기적 교체가 필요함. 본 악취저감기술은 퇴비화시설이나 액비저장조에 연계된 사례가 많음.
- 안개분무시스템은 전용 노즐 이용으로 평균 5~50um의 미세안개(연무) 입자를 생성하며, 공간에서 충분한 시간 동안 기액 접촉으로 반응하고 분진을 바닥으로 가라앉혀 악취확산을 억제함. 물과 악취(가스 및 분진)와의 접촉이 양호해야 하고, 비교적 많은 물이 필요함. 밀

폐된 공간에서 환기 등 바람의 영향이 없어야 효과적임. 퇴비화시설에서 적용 할 경우, 퇴비단이 젖을 우려가 있음. 비교적 저렴하며 다양한 액상제재가 활용가능하나 양돈시설 분뇨처리장에서는 일반적으로 분진 등이 함유되어 있으므로 잦은 노즐막힘 현상으로 운영상 애로사항이 발생함.

- 약취저감기술 적용에 따른 설치비 및 유지비용은 탈취방법 별로 상당히 차이가 있음. 또한 동종 설비라 하더라도 농가 조건, 설비 크기 및 재질에 따라서도 비용 변동의 폭이 큼. 장치를 구성하는 각 부분의 단위장치, 즉 송풍시설, 약물 펌프, 충전재, 흡착제, 촉매제, 살수노즐, 약액 탱크 등의 비용이 반영됨.
 - 통상 탈취 환기량이 커지면 그만큼 장치도 커지는 만큼 설비비가 높아지므로 경비가 과대하게 소요되는 경우에는 다시 약취발생 단계에서부터 재검토하여 발생원의 약취물질 농도 및 환기량을 최대한 감소시킨 후 탈취장치 도입을 위한 비용을 저감하는 것이 중요함.

- 종류에 무관하게 모든 약취저감기술 및 탈취시설의 유지관리는 매우 중요함. 설치 초기의 탈취 효율이 충분하더라도 유지관리를 적절하게 하지 않으면 장치의 수명이 짧아지거나 부식 등으로 인해 잠재적 약취확산 가능성이 발생함. 탈취장치의 유지관리 소홀이 원인으로 약취민원에 이어지는 사례가 있음. 농장주는 탈취장치가 납품된 후 업체에 의존하는 것이 아니라 주체성을 가지고 면밀한 유지관리에 힘써야 함.
 - 아무리 뛰어난 탈취장치라도 운전관리와 보수점검 및 정비가 불충분하면, 본래의 탈취기능을 발휘할 수 없음. 업체가 제공하는 운전 매뉴얼, 보수점검 매뉴얼, 비상대책 매뉴얼 등을 잘 이해해서 그 순서에 따른 운영 및 보수점검을 함.
 - 또한, 운전 데이터와 보수점검 및 정비기록을 상세히 정리·보관하고, 약취저감 효율에 대한 분석자료를 만들 필요가 있음. 일반적으로 탈취장치는 1년 연속 운전을 하게 되면 탈취 장치와 운전요령에 관한 애로사항, 단위장치의 문제점이 드러날 수 있음. 농장주는 이를 대비하여 설치업체와 1년 정도의 사후관리 및 탈취성능보증에 관한 계약을 하는 것이 바람직함.

- 탈취장치의 유지관리를 위해서는 상시적으로 시스템 전체에 대해 약취 누출부분이 없는지 점검 해야하며, 탈취장치의 성능 저하의 경우 다음의 점검이 필요함.
 - 덕트와 탈취장치 내의 폐색에 의한 유량이 감소 및 약취포집 미흡
 - 스프레이 노즐의 분무 상황(노즐의 폐색)
 - 탈취장치 내부 청소 및 순환수량이나 약제(산·알칼리제)의 부족
 - pH 센서 및 순환펌프 소모품
 - 약액 주입펌프 소모품
 - 수명을 넘은 충전재, 미생물의 사멸
 - 펌프 등 단위장치 소모성 부품 교체 등

<표 105> 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 요소 및 평가지표 현황조사 예시

농장일반현황				
농장명	00농장	주소	0000	
대표명	000	연락처	0000	
사육형태	<input type="checkbox"/> 일관사육농가, <input checked="" type="checkbox"/> 번식전문농가, <input type="checkbox"/> 육성비육전문농가			
사육두수	<input type="checkbox"/> 총(3000)두 [모돈(480)두, 자돈(~25kg)(2520)두, 육성비육돈()두]			
측사 면적 및 형태	<input type="checkbox"/> 면적 : 총 (5)동, 총 면적(2163.2)m ²		<input type="checkbox"/> 형태: 슬러리,스크레퍼	
	<input type="checkbox"/> 무 창: ()동 []			
	개방(원치)형: (5)동 [임신사, 분만사, 자돈/육성사]			
	<input type="checkbox"/> 전면슬랏 ()동 []			
<input type="checkbox"/> 부분슬랏 ()동 []				
가축분뇨 처리 현황 (분뇨발생량: 20톤/일)				
분뇨처리 방법	<input type="checkbox"/> 위탁 : 18톤/일		<input type="checkbox"/> 자가 : 2톤/일	
	※ 자가처리시 : 액비화()%, 퇴비화(100)%, 정화()%			
	액비	<input type="checkbox"/> 위탁업체: 공공처리장 <input type="checkbox"/> 처리단가: 2만2천원/톤 [공공]	<input type="checkbox"/> 반출량:(100-120)톤/주, ()톤/회 <input type="checkbox"/> 주기:()회/주, ()회/월, ()회/년	
		<input type="checkbox"/> 위탁업체: 공동자원화 <input type="checkbox"/> 처리단가: 1만7천원/톤 [공동]	<input type="checkbox"/> 반출량:(20)톤/주, ()톤/회 <input type="checkbox"/> 주기:()회/주, ()월/회, ()년/회	
		<input type="checkbox"/> 위탁업체: <input type="checkbox"/> 처리단가: 천원/톤 [공동/공공/유통]	<input type="checkbox"/> 반출량:()톤/월, ()톤/회 <input type="checkbox"/> 주기:()회/주, ()월/회, ()회/년	
퇴비	<input type="checkbox"/> 위탁업체: <input type="checkbox"/> 처리단가: 천원/톤 [공동/공공/유통]	<input type="checkbox"/> 반출량:()톤/회 <input type="checkbox"/> 주기:()회/4일, ()월/회, ()회/년		
분뇨 저장시설 용량	<input type="checkbox"/> 저장조: (6)개 총 (1100)톤 ※ 집수조 및 액비 발효시설 포함			
	○ 집수조 (100)톤x(1)개=(200)톤 [지하/밀폐] ○ 저장조 (200)톤x(1)개=(200)톤 [개방/지하, 밀폐화 된 퇴비사 내 위치] ○ 저장조 (200)톤x(4)개=(800)톤 [하우스식 전면밀폐] ○ 원형저장조 (400)톤x(2)개=(800)톤 [개방/지붕/*현재 사용하지 않음]			
	○ ()톤x()개=()톤 [밀폐/지붕/개방/탈취시설:] ○ ()톤x()개=()톤 [밀폐/지붕/개방/탈취시설:] ○ ()톤x()개=()톤 [밀폐/지붕/개방/탈취시설:] ○ ()톤x()개=()톤 [밀폐/지붕/개방/탈취시설:]			
	<input type="checkbox"/> 현재 저장비율: 액상 70%, 퇴비사 80%			
<input type="checkbox"/> 저장 가능기간: 약1.8개월 (1100톤:600톤/월)				
돈사 내 분뇨관리	<input type="checkbox"/> 퇴비사: (1)개, 총 (150)m ²			
	○ 퇴비사 a: 총 (150)m ² [밀폐] ○ 퇴비사 b: 총 ()m ² []			
	<input type="checkbox"/> 양호 <input checked="" type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 불량 (☞ 피트관리상태) ①슬러리 혹은 스크레퍼 피트 관리상태 확인, ②순환시스템 적용여부, ③피트 깊이, 분뇨 적체정도, 발효정도 확인			
	○ 슬러리피트 : 피트 깊이(150)cm, 적체 깊이 (130)cm			
○ 슬러리피트청소 : ()회/(주·월·년) [방법:]				
○ 돈사바닥청소 : (2)회/(주) [방법: 단순청소, 복도분무]				
○ 슬러리배출 : ()회/(일·주·월) [방법:]				
○ 돈사소독 : ()회/(일·주·월) [방법:]				

<p>고액분리시설 관리</p> <p><input type="checkbox"/>종류: 경사스크린(+플러압착) <input type="checkbox"/>악취저감시설: 없음</p>	<p><input type="checkbox"/>고액분리장, 저류장 밀폐 <input checked="" type="checkbox"/>고액분리장 밀폐, 관리 보통 <input type="checkbox"/>고액분리장 밀폐, 관리 불량 <input type="checkbox"/>고액분리장 개방, 관리 양호</p> <p>①저류장 및 고액분리장 밀폐정도 확인, ②고액분리기 가동시간 등 관리실태 확인</p>
<p>퇴비장 관리</p> <p><input type="checkbox"/>탈취저감시설: 안개분무</p>	<p><input type="checkbox"/>충분한 수분조절제 사용 교반 후 밀폐 <input type="checkbox"/>적당량의 수분조절제 사용 교반 <input type="checkbox"/>소량의 수분조절제 사용 무교반, 퇴적, 부분밀폐 <input checked="" type="checkbox"/>수분조절제 무사용, 교반, 퇴적, 밀폐</p> <p>①수분제거에 적당한 조절제 사용유무 확인, ②퇴비장의 처리 능력 확인 ③교반작업 시 직접관능법과 검지관 및 간이식 측정기로 냄새발생강도 확인</p>
<p>액비화시설 관리</p>	<p><input type="checkbox"/>밀폐형 수증폭기장치 이용 고온 폭기 <input type="checkbox"/>밀폐형 수증폭기장치 이용 중온 폭기 <input type="checkbox"/>개방형 수증 폭기장치</p> <p>①밀폐형 폭기처리장 설치 유무확인, ②고온 발효 폭기 처리 여부확인 ③개방형 폭기장치 및 살수형 폭기시설 냄새발생강도 확인 (직접관능법과 검지관 및 간이식 측정기 이용)</p>
<p>저장조 관리</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/>밀폐형 액비저장조 <input type="checkbox"/>개방형 액비저장조</p> <p>①밀폐형 액비저장조 설치 유무확인, ②개방형 액비저장조 험기상태 및 냄새발생강도 확인 (직접관능법과 검지관 및 간이식 측정기 이용)</p>
<p>돈사 내외부 청결관리</p>	<p><input type="checkbox"/>양호 <input checked="" type="checkbox"/>보통 <input type="checkbox"/>미흡</p> <p>①돈사 내외부 청소상태 확인, ②돈사 및 분뇨처리시설 냄새물질 누출 여부확인, ③돈사 내 주요이동통로 포장 실시 여부 확인</p>

농장 냄새발생 현황

<p>주요 냄새발생시설</p>	<p>돈사내외부, 퇴비사 내부</p>
-------------------------	----------------------

<p>냄새정도(직접관능) 및 민원발생 현황</p>	<p><input type="checkbox"/>우수 <input type="checkbox"/>양호 <input checked="" type="checkbox"/>보통 <input type="checkbox"/>미흡 <input type="checkbox"/>기타()</p>	<p>연(-)건</p>
------------------------------------	---	--------------

<p>환경개선제 (음수, 사료혼합, 살포, 퇴·액비화시설) *농업기술센터 제공 포함</p>	<p><input type="checkbox"/>제품a: 닭***장</p> <p>○사용량: (1)kg/ton(사료)</p> <p>○주원료:</p>	<p>○사용방법 : 사료혼합</p> <p>○운영비:(20,000)천원/년</p>	<p>○단 가: (5)천원/kg</p> <p>○사용주기:매일</p> <p>○기타:</p>
	<p><input type="checkbox"/>제품b: 농업기술센터</p> <p>○사용량: ()톤/년</p> <p>○주원료: 바실러스, 광합성세균</p>	<p>○사용방법 : 슬러리 투입</p> <p>○운영비:()천원/년</p>	<p>○단 가: ()천원/ kg</p> <p>○사용주기:()일/주</p> <p>○기타: 약180L/주 투입</p>
	<p><input type="checkbox"/>제품c: A라디칼수</p> <p>○사용량: ()톤/년</p> <p>○주원료: A라디칼수 (설치비: 75천만원x2기)</p>	<p>○사용방법 : 음수</p> <p>○운영비:()천원/년</p>	<p>○단 가: ()천원/ kg</p> <p>○사용주기:매일</p> <p>○기타: 1회/4년 30만원 부품교체</p>
	<p><input type="checkbox"/>제품d: 탈취제</p> <p>○사용량: (80)L/월</p> <p>○주원료:</p>	<p>○사용방법 : 소독/탈취</p> <p>○운영비:()천원/년</p>	<p>○단 가: (130)천원/20kg</p> <p>○사용주기:()일/주</p> <p>○기타:</p>

<p>폐사축 처리</p>	<p><input type="checkbox"/>자가처리: 렌더링(), 소각(), 열처리(o), 기타() <input type="checkbox"/>위탁처리: (업체:) / 처리비용()원/kg <input type="checkbox"/>기타:</p>
----------------------	--

냄새저감시설 보급 및 운영 현황(해당 항목에 체크)

액비순환시스템(액비상태, 분배기 상태) : 양호, 보통, 불량
 ○업체명:(), ○시설비:()천원[보조: %, 자부담: %], ○설치년월:()

안개분무시설(분무정도, 노즐상태) : 양호, 보통, 불량
 ○업체명:(소***아), ○시설비:(105,000)천원[보조:50%, 자부담:50%],
 ○설치년월:(17'.06), 발생기 3기
 ※ 19년 7월말 추가시설(돈사내외부) 완공예정(11,000천원 소요)

<input type="checkbox"/> 설치장소: 퇴비사/ 돈사내·외부		
<input type="checkbox"/> 첨가제: 청정	○단가: (250)천원/5kg	○운영비:(12,000)천원/년
○투입량 : 5천-2만:1회석	○사용량: (20)kg/월	○사용주기:(3)분/40분, 상시간동

바이오커튼(커튼상태) : 양호, 보통, 불량
 ○업체명:(), ○시설비:()천원[보조: %, 자부담: %], ○설치년월:()

<input type="checkbox"/> 설치시설:		
<input type="checkbox"/> 첨가제:	○단 가: ()천원/ kg	○운영비:()천원/년
○투입량 :	○사용량: ()kg/월	○사용주기:()분/일.회 x ()회

바이오필터(필터상태, 세정액 상태) : 양호, 보통, 불량
 ○업체명:(), ○시설비:()천원[보조: %, 자부담: %], ○설치년월:()

기타 (미생물제 등)
 미세연무장치(분무정도, 노즐상태) : 양호, 보통, 불량
 ○업체명:(에***씨), ○시설비:(4,500)천원[보조:50%, 자부담:50%],
 ○설치년월:(19'.05), 발생기 1기

<input type="checkbox"/> 설치장소: 농장입구 (이동형이므로 농장내에서 탄력적으로 운영)		
<input type="checkbox"/> 첨가제: 탈취제	○단가: (130)천원/20kg	○운영비:()천원/년
○투입량 : 0.1-1%회석	○사용량: ()kg/월	○사용주기:(3)분/40분, 상시간동

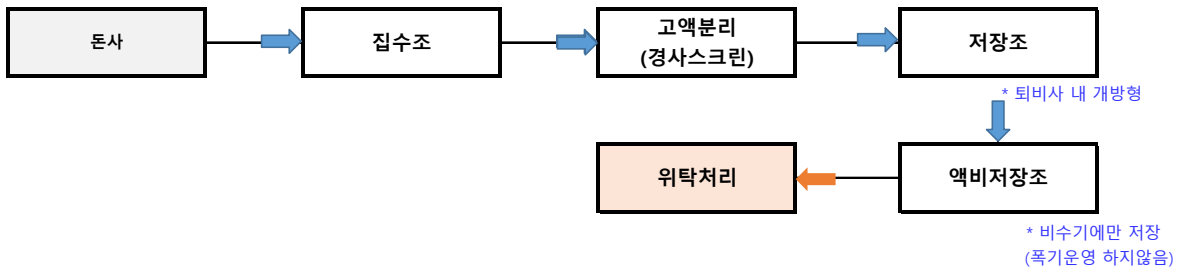
이산화염소수: 설치비 450만원(유***스, 19'.5)

미생물배양기(500Lx2기)

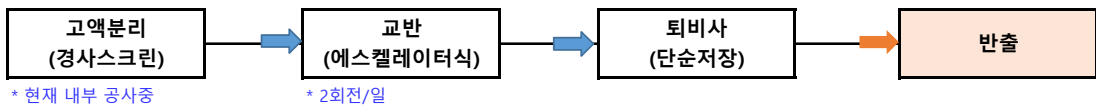
방취립 식재

분뇨처리 시설 흐름(모식도)

[액상]



[고상]



<표 106> 양돈농가 분뇨처리장 악취관리 요소 및 평가지표 항목의 도출

[A] 집수조 및 분뇨 이송관리 요소		악취관리 평가지표 항목	악취관리 매뉴얼 도출
[A01]	집수조 적정 밀폐화	-개방된 집수조는 주요 악취발생원으로 작용 -밀폐화 및 음압포집 후 탈취시설 연계	-집수조(또는 고액분리 후 유량조정조)는 고액분리기와 연계되어 있는 경우가 대부분이므로, 보통 퇴비사 내부 또는 근거리에 위치하고 있음 -개방된 집수조는 그 자체로도 주요 악취발생원으로 작용함. 집수조에 분뇨가 투입된 뒤 별도의 조치 없이 단순 저장 할 경우 액상물 상부에 유막층이 형성되어 악취가스의 발생이 억제될 수 있으나, 집수조의 하부 침전물 방지를 위하여 폭기 할 경우 순간적으로 고농도의 악취가스가 발생할 우려 -단기적 방편으로는 조의 상부를 차광막 등으로 덮어주어 냄새의 확산을 방지하고, 시각적인 냄새를 차단함. 장기적으로는 시설의 개보수를 통하여 밀폐화 및 음압포집 후 적절한 냄새저감 방법과 시설로 악취 발생을 최소화 -슬러리피트로부터 배출되는 분뇨의 유기물질이 밖으로 배출될 때 이물질과 혼합되지 않도록 배출함
[A02]	집수조 침전물 방지	-침전물 방지를 위해 폭기시 고농도 악취가스 발생 -순환펌프 이용 간헐적 교반 권장	
[A03]	집수조 주변 청소 및 청결 유지	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단	
[A04]	슬러리 배출구 관리	-돈사 노후화로 배출구에서 부분적 노출 -악취발생원으로 작용	
[A05]	분뇨 이송라인 밀폐화	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단	
[A06]	분뇨 이송라인 누수 관리	-시각적 냄새 차단 -분뇨 이송라인 누출여부 상시 점검	
[A07]	분뇨 이송거리	-돈사에서부터 집수조까지 이송거리 -거리가 멀수록 잠재적 악취발생 위험 노출	
[A08]	악취측정 ○ 슬러리 배출구 ○ 집수조 상부	-암모니아, 황화수소 측정 -측정기 모델 기록 -외기환경 기록 등	
[B] 고액분리시설 관리요소		악취관리 평가지표 항목	악취관리 매뉴얼 도출
[B01]	고액분리기 보유 대수	-일반적으로 1~2대 설치·운영 -2차에 걸쳐 처리 시 액비화조 유입부하(악취발생) 저감	-고농도 양돈분뇨는 물리적 전처리 공정인 고액분리과정에서 효과적으로 고형물이 제거(분리)되어질 때 후처리 부하를 줄일 수 있음. -효과적인 고액분리는 후단 시설(퇴·액비화 및 정화처리)의 규모 감소 뿐 만 아니라 퇴·액비화 및 정화처리 과
[B02]	고액분리기 종류	-개방식구조: 경사·진동스크린, 벨트프레스 -밀폐식구조: 스크류압착, 드럼스크린, 원심분리기	
[B03]	고액분리기 설치 연도	-시설 노후화 시 처리효율 저감 -잠재적 악취 발생 차단	

[B04]	고액분리기 설치비 및 운영비	-일반현황 -경제성 평가	<p>정에서 발생하는 이익으로 시설비와 운영비를 절감함</p> <p>-양돈농가에서 사용하는 고액분리기(기계적 고액분리)는 대부분 ①스크린방식(진동스크린, 경사스크린, 드럼스크린), ②압착방식(롤러, 벨트 및 스크류), ③상기 중 2가지 이상의 기술이 결합 된 형태, ④원심분리방식(데칸타 등)이 이용되고 있음</p> <p>-고액분리는 2차 처리를 할 경우 고형물 처리효율을 극대화되어 액비화시설에서 유입부하가 낮아지며, 악취발생 저감</p> <p>-고액분리기의 정기적으로 청소하여 청결도 유지</p> <p>-슬러리는 가능한 신속하게 배출하고, 고액분리기로 처리하여 부패 등에 따른 악취 발생 최소화</p> <p>-고액분리를 위한 별도 공간의 확보가 필요함(고액분리시설과 퇴비화시설을 연계하는 공간의 이용이 바람직함)</p> <p>-고액분리시설은 반드시 밀폐 또는 밀폐화 된 퇴비화 시설 내부에 설치함. 퇴비화 시설과 멀리 떨어져 있을 경우 분리고형물 운반 시 분뇨누출 등으로 악취 발생</p> <p>-악취확산방지를 위하여 밀폐화 구조물 내·외부에 안개분무 등 별도의 저감장치 운영할 경우 효과적임</p> <p>-민원이 발생할 가능성이 높은 시간대와 기후조건(계절별) 및 저기압 시에는 고액분리 운영을 자제하는 것이 바람직함(퇴비화 교반작업 등에도 해당됨). 발생원 주변에 악취 휘산에 영향을 미치는 시설물과 자연지형물이 있을 경우 악취 영향권의 범위는 큰 차이를 보일 수 있음. 또한 풍빈도와 풍속, 지속도 등 농가의 위치에 따라 시시각각으로 달라지는 바람현상을 고려하여 운영함.</p> <p>-분뇨이송관로 누출방지 철저</p> <p>-항시 기기점검을 통한 유지관리 및 보수</p> <p>-협잡물 제거장치는 적정 회전수, 정상가동, 내부 협잡물 막힘 확인하고 고액분리 내부 스크린의 파손 여부 확인</p> <p>-주기적인 악취(암모니아, 황화수소 등) 측정 및 확인</p>
[B05]	고액분리기 약주 여부	-일반적으로 벨트프레스, 원심분리기에서 사용 -액상에서 유기물질 저감되나 고형물 중 중금속농도 상승	
[B06]	고액분리기 설치 위치	-퇴비화시설 내부에 설치되는 것이 바람직 -고액분리기에서 발생하는 분리고형물도 외부노출 자제	
[B07]	고액분리기 가동 시간	-최대한 맑은 날(고기압) 낮 시간 동안 실시 -풍빈도를 고려하여 탄력적 운영	
[B08]	고액분리기 처리 효율	-고액분리 전후 TS, BOD 저감효율 -BOD의 농도가 높으면 악취 원인물질 농도도 높음	
[B09]	고액분리기 청결 유지	-고액분리기를 정기적으로 청소하여 청결도 유지 -청소를 하며 기기 이상 여부를 점검	
[B10]	고액분리기 유지보수	-각 고액분리기 종류별 유지관리 항목 -소모성 부품 및 스크린 등 교체주기 점검	
[B11]	적정 밀폐화	-고액분리시설의 적정 밀폐화 -밀폐화된 퇴비사 내부에 고액분리기 설치	
[B12]	악취포집 연계	-적정한 음압후드 시설 -덕트 등 이송관로 이음새에서 악취누출 방지	
[B13]	탈취장치 연계	-탈취장치의 종류 -탈취장치의 효율	
[B14]	안개분무시설 연계	-일반적으로 밀폐화 후 안개분무시설 연계 -안개분무 운영조건(분무량 및 분무주기)	
[B15]	악취측정(고액분리기 가동)		
	o 밀폐시설 외부(=밀폐시설 없음)		
	o 밀폐시설 내부		
	o 밀폐시설 외부(안개분무 가동)		
	o 밀폐시설 내부(안개분무 가동)	-암모니아, 황화수소 측정 -측정기 모델 기록 -외기환경 기록 등 -고액분리기의 악취측정 시 주변 악취발생원 요인 고려	

[C] 퇴비화시설 관리요소		악취관리 평가지표 항목	악취관리 매뉴얼 도출
[C01]	퇴비화시설 개(동)수 및 면적	-일반현황 -충분한 퇴비 저장 면적 확보	-퇴비화시설의 내외부 청결관리가 우선임. 퇴비화조 바닥 방수처리, 침출수 및 오염수 외부 유출 방지
[C02]	퇴비화시설 내·외부 청결 관리	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단, 운영 중 분뇨의 누출 차단	-일반적으로 양돈농가에서는 퇴적교반형, 자연송풍형(다공성관) 방법을 사용함. 최근 밀폐형컴포스트기 이용사례가 늘고 있음(악취관리에 효과적).
[C03]	퇴비화시설 운영방법	-단순퇴적식, 퇴적통풍식, 기계교반식, 밀폐형컴포스트 등 -각 퇴비화 방법에 따른 악취관리 계획	-분리 고형분에 부자재 혼합 시 최대의 악취발생 경향있음. 수분조절재 혼합 후 퇴비 더미는 1.2m~2.0m 정도로 운영함.
[C04]	퇴비화시설 설치연도	-시설 노후화 시 처리효율 저감 -잠재적 악취 발생 차단	-퇴비원료가 혐기성 조건이 되면 황화합물과 저급지방산의 발생으로 악취물질의 발생이 현저해짐. 따라서 수분 및 호기성 조건을 유지하여 부패악취 발생 억제함.
[C05]	퇴비화시설 설치비 및 운영비	-일반현황 -경제성 평가	-송풍장치의 정상 여부 관리함. 퇴비화 교반작업을 자주하여 공기공급을 원활하게 함. 퇴비교반기가 없다면 스키드로더, 굴삭기 등으로 교반함. 교반작업은 고기압 상태에서 1일 1~2회 실시함.
[C06]	퇴비화시설 정상가동 여부	-정상 퇴비화 조건(영양분·수분·공기·미생물·온도·기간 등) -퇴비단 높이, 퇴비화 시 뒤집기, 교반 등 적정 운영	-주기적인 냄새물질 확인 및 곰팡이(방선균)발생 등을 점검하여 퇴비의 부숙상태를 상시 확인함
[C07]	퇴비화시설 유지보수	-각 퇴비화 방법별 유지관리 항목 -송풍기 및 소모성 부품 등 점검	-충분한 퇴비 저장 면적 확보함.
[C08]	발효조 구획 나눔	-발효조를 1개조 마다 구분하고, 커튼 등으로 나눔 -각 발효조 및 저장조에 개별 밀폐	-필요시 비닐시트피복, 톤백, 압롤박스 등은 저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감 최소화. 필요시 미생물제를 살포하여 운영함.
[C09]	수분조절재 활용	-수분조절재 종류(톱밥, 완겨, 수피 등) 및 적정 사용량 -퇴비원료 장기 저장시 수분조절재로 상부 산포	-퇴비화 시설에서의 악취가스는 측사에 비해 매우 높은 농도(암모니아 수백~수천 ppm)로 발생함. 반드시 밀폐, 음압포집 및 탈취시설 연계 필요함.
[C10]	냄새저감 및 발효촉진 미생물 활용	-저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감에 도움 -냄새확산 저감 후 탈취처리 시 효율증가	-퇴비화시설의 내부 용적이 큰 경우 내부를 이중구조로 밀폐화 또는, 발효조를 1개조 마다 덮거나 커튼 등으로 나누는 등 내용적을 최대한 적게 설치함.
[C11]	퇴비 부숙도 수준	-일반점검(자가 센서측정) 및 정밀점검(분석의뢰) -미부숙 퇴비 악취발생	-퇴비화시설의 내부 용적이 클 경우 환기량이 많아지고, 탈취
[C12]	비닐시트 피복, 톤백, 압롤박스 등 활용	-저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감 최소화 -냄새확산 저감 후 탈취처리 시 효율증가	
[C13]	적정 밀폐화	-대형 퇴비화시설은 내부를 이중구조로 밀폐화	

		-내용적이 불필요하게 클 경우 환기량이 많아짐	
[C14]	환기구 및 배기(후드)구 위치	-풍향 및 민가의 방향 고려 -적정 환기량 산정 및 효율적 탈취장치 연계 고려	<p>시설의 규모가 너무 크게 됨. 또한, 운전 비용도 증가하게 되므로 애로사항이 가중될 우려가 있음.</p> <p>-환기량은 밀폐화 시설 내 공간용적(내용적에서 퇴비 퇴적량을 뺀 나머지 양)의 공기를 시간당 8~10회 정도 환기하는 양으로 하며, 송풍시설이 있는 경우에는 송풍량까지 포함하여 산정함.</p> <p>-퇴비화시설의 밀폐화가 어려울 경우 윈치커튼으로 악취 확산 최소화하며 안개분무 등으로 악취저감에 노력함. 기본적으로 개방형 퇴비사의 경우 무취화를 전제조건으로 확립 함(3차 발효 조건)</p>
[C15]	악취포집 연계	-적정한 음압후드 시설 -덕트 등 이송관로 이음새에서 악취누출 방지	
[C16]	탈취장치 연계	-탈취장치의 종류 -탈취장치의 효율	
[C17]	안개분무시설 연계	-일반적으로 밀폐화 후 안개분무시설 연계 -안개분무 운영조건 (분무량 및 분무주기)	
[C18]	악취측정	<p>-암모니아, 황화수소 측정</p> <p>-측정기 모델 기록</p> <p>-외기환경 기록 등</p>	
	o 퇴비화시설 외부(=밀폐시설 없음)		
	o 퇴비화시설 내부		
	o 밀폐시설 외부(안개분무 가동)		
	o 밀폐시설 내부(안개분무 가동)		
	o 각 발효조별 퇴비단		
[D] 액비화시설(액비저장조 포함) 관리요소		악취관리 평가지표 항목	악취관리 매뉴얼 도출
[D01]	액비화시설 유효 처리용량(발효조 및 저장조 개(조)수)	-일반현황 -액비처리 시 충분한 유효용량 확보	<p>-액비화조에서는 호기성 미생물의 활성 유지 및 유기물질을 산화·분해할 수 있도록 지속적인 공기(산소) 공급을 통하여 용존산소가 부족하지 않은 상태로 유지하여야 함.</p> <p>-액비발효조의 공기공급량은 BOD농도 11,000~22,000 mg/L, 액비화 일수 15~30일 기준 시 호기성 액비화조 단위용량당 공기량은 0.03 m³air/m³·min로 설계함.</p> <p>-액비화 시설의 기본적인 냄새저감 대책은 적정 호기 조건을 충족하여 정상적인 액비화를 실시하고, 폭기량 및 용존산소량 등을 상시 점검하여 혐기성 상태의 방지 및 부패성 악취의 발생을 억제하는 것임.</p>
[D02]	액비화시설 내·외부 청결 관리	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단, 운영 중 분뇨의 누출 차단	
[D03]	액비화시설 운영방법	-장기폭기, 액비순환, 밀폐형고속발효, 액비저장조 등 -각 액비화 방법에 따른 악취관리 계획	
[D04]	액비화시설 설치연도	-시설 노후화 시 처리효율 저감 -잠재적 악취 발생 차단	
[D05]	액비화시설 설치비 및 운영비	-일반현황 -경제성 평가	

[D06]	액비화시설 정상가동 여부	-정상 액비화 조건(유입부하, 적정 공기 공급량 등) -발효조 및 저장조 상시점검(거품발생, 수위, 센서 등)	<p>-유입원수는 고액분리 등 전처리를 통하여 BOD 및 TS를 최대한 저감하여, 폭기시 거품발생의 문제점을 해소해야 함. 유입되는 분리 액상물의 TS의 농도를 1%전후 목적으로 운영함.</p> <p>-발효조 운영초기에는 부속발효액비를 1/3정도 투입하여 미생물을 활성화하는 방식으로 운전함. 적정한 공기량의 공급이 필수적이며, 필요시 농축산소 또는 액화 산소 등을 사용함.</p> <p>-액비화 과정 중에는 일반점검(pH, DO, EC, ORP, 온도, 발효조 갈색화 변화 등) 및 정밀점검(TN, TP, K, NaCl, 중금속, 부속도, 종자발아지수 등)을 수행하여 최종 생산 액비의 품질관리 프로그램(매뉴얼)을 운영함.</p> <p>-액비화시설의 내부순환펌프, 이송펌프, 브로워, 수위계 등을 상시 점검하여 유지·보수함.</p> <p>-액비화시설에서는 개방형 살수식 액비처리장 사용 자제해야함. 즉 비가림시설을 포함한 밀폐화 및 강제 환기를 통해 스크러버 및 탈취탑 등의 냄새저감장치로 처리가 바람직함. 밀폐화 시설의 작업용 맨홀에는 반드시 덮개를 설치하여 운영함.</p> <p>-환기량은 밀폐화 시설 내 공간용적(액상물 저장 용적을 뺀 나머지 양)의 공기를 시간당 8~10회 정도 환기하는 양으로 하며, 송풍시설이 있는 경우에는 송풍량까지 포함하여 산정함.</p>
[D07]	액비화시설 적정 수위 유지	-여유율을 두어 약 60~70% 유지 -고농도 유입부하 시 거품 대량발생	
[D08]	액비화시설 유지보수	-각 액비화 방법별 유지관리 항목 -브로워, 에젝터노즐 및 소모성 부품 등 점검	
[D09]	냄새저감 및 발효촉진 미생물 활용	-저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감에 도움 -냄새확산 저감 후 탈취처리 시 효율증가	
[D10]	액비 부속도 수준	-일반점검(자가 센서측정) 및 정밀점검(분석의뢰) -미부속 액비 악취발생	
[D11]	적정 밀폐화	-액비화시설(저장조 포함)의 적정 밀폐화 -밀폐화 시설의 작업용 맨홀에 덮개 설치	
[D12]	환기구 및 배기(후드)구 위치	-풍향 및 민가의 방향 고려 -적정 환기량 산정 및 효율적 탈취장치 연계 고려	
[D13]	악취포집 연계	-적정한 음압후드 시설 -덕트 등 이송관로 이음새에서 악취누출 방지	
[D14]	탈취장치 연계	-탈취장치의 종류 -탈취장치의 효율	
[D15]	악취측정	<p>-암모니아, 황화수소 측정 -측정기 모델 기록 -외기환경 기록 등</p> <p>-액비화시설은 퇴비화시설과는 달리 형태(콘크리트/법랑판넬 등)와 구조(지상/지하 등)가 농가마다 상이하므로 환경에 따라 적절히 대응함.</p>	
	o 발효조 상부		
	o 발효조 내부 (밀폐화 시)		
	o 발효조 주변 1~2m		
	o 저장조 상부		
	o 저장조 내부 (밀폐화 시)		
	o 저장조 주변 1~2m		

[E] 악취저감기술 관리요소		악취관리 평가지표 항목	악취관리 매뉴얼 도출
[E01]	공통사항	<p>-농가 조건, 설비 크기 및 재질에 따라서도 악취저감기술 별 비용 변동의 폭이 큼.</p> <p>-통상 탈취 환기량이 커지면 그만큼 장치도 커지는 만큼 설비비가 높아지므로 경비가 과대하게 소요됨.</p> <p>-운전관리와 보수점검 및 정비가 불충분하면, 본래의 탈취기능을 발휘할 수 없음. 업체가 제공하는 운전 매뉴얼, 보수점검 매뉴얼, 비상대책 매뉴얼 등을 잘 이해해서 그 순서에 따른 운영 및 보수점검을 함.</p> <p>-운전 데이터와 보수점검 및 정비기록을 상세히 정리·보관하고, 악취저감 효율에 대한 분석자료를 만들 필요가 있음.</p>	<p>-탈취탑(스크러버)은 물 또는 약품을 반응기 상단에서 분무하여 기액이 접촉하는 동안 화학적 작용에 의해 악취 물질을 흡수 및 제거하는 방법임. 대량의 물이 필요하므로 별도의 배수 대책도 필요함. 특히 약액처리 폐액을 적정한 방법으로 처리해야함. 설치비가 비교적 고가이며, 약품비용 및 폐수처리 비용이 소요됨.</p> <p>-바이오필터는 악취가스를 필터에 통과시켜 미생물에 의해 악취 물질들을 산화·분해하는 방법이며, 일반적으로 중~저농도의 악취가스 처리에 적용됨. 통기저항이나 압력손실로 인해 특수한 휠(송풍시설) 설치가 요구되는 경우 있음. 시스템의 설치비가 비교적 저렴하고 운전이 용이하며, 폐수가 발생되지 않으나 충전재(담체)의 정기적 교체가 필요함.</p> <p>-안개분무시스템은 전용 노즐 이용으로 평균 5~50um의 미세안개(연무) 입자를 생성하며, 충분한 시간 동안 기액 접촉으로 반응. 분진을 바닥으로 가라앉혀 악취확산을 억제함. 물과 악취(가스 및 분진)와의 접촉이 양호해야 함. 밀폐된 공간에서 환기 등 바람의 영향이 없어야 효과적임. 잦은 노즐막힘 현상으로 운영상 애로사항이 발생함.</p>
	o 설치비 및 유지비용		
	o 처리대상 악취물질 종류 및 농도		
	o 악취발생원별 밀폐화 시설의 내용적		
	o 악취포집량에 따른 송풍시설 설계		
	o 악취포집 및 이송배관 누출여부		
	o 탈취장치 운전 매뉴얼		
	o 운전데이터, 보수점검 및 정비기록		
o 비상시 대책 매뉴얼			
[E02]	o 악취측정(처리효율 검토)		
	악취저감기술 점검 (탈취탑, 바이오필터, 안개분무)		
	탈취탑 내·외부	-누수 및 가스누출 여부, 탈취장치 내외부 청소	
	스프레이노즐	-폐색현상 점검	
	가스유량 및 압력손실	-가스유량, 정압, 온도 등 점검	
	순환펌프	-순환수량, 토출압력, 이상음, 진동 등 점검	
	물탱크	-보급수량 점검, 협잡물 유입 차단	
	약액탱크	-약액량 점검	
	약액주입펌프	-밸브교환, 토출압력, 이상음, 진동 등 점검	
	교반기	-V벨트, 그리스 보완, 볼트이완 등 점검	
	모니터링센서	-pH 등 전극 교정 및 교환, 지시치 점검	
	폐액 배수관리	-폐액 적정 처리	
	충진재	-재질, 충전비율, 수분량, 충전재 교체 주기	
	체류시간	-악취와 세정액 또는 안개분무 및 충전재와의 접촉시간	

[A] 집수조 및 분뇨 이송관리		악취관리 평가지표	악취관리 매뉴얼 도출
[A01]	집수조 적정 밀폐화	-개방된 집수조는 주요 악취발생원으로 작용 -밀폐화 및 음압포집 후 탈취시설 연계	-집수조(또는 고액분리 후 유량조정조)는 고액분리기와 연계되어 있는 경우가 대부분이므로, 보통 퇴비사 내부 또는 근거리에 위치하고 있음 -개방된 집수조는 그 자체로도 주요 악취발생원으로 작용함. 집수조에 분뇨가 투입된 뒤 별도의 조치 없이 단순 저장 할 경우 액상물 상부에 유막층이 형성되어 악취가스의 발생이 억제될 수 있으나, 집수조의 하부 침전물 방지를 위하여 폭기 할 경우 순간적으로 고농도의 악취가스가 발생할 우려 -단기적 방편으로는 조의 상부를 차광막 등으로 덮어주어 냄새의 확산을 방지하고, 시각적인 냄새를 차단함. 장기적으로는 시설의 개보수를 통하여 밀폐화 및 음압포집 후 적절한 냄새저감 방법과 시설로 악취 발생을 최소화 -슬러리피트로부터 배출되는 분뇨의 유기물질이 밖으로 배출될 때 이물질과 혼합되지 않도록 배출함
[A02]	집수조 침전물 방지	-침전물 방지를 위해 폭기시 고농도 악취가스 발생 -순환펌프 이용 간헐적 교반 권장	
[A03]	집수조 주변 청소 및 청결 유지	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단	
[A04]	슬러리 배출구 관리	-돈사 노후화로 배출구에서 부분적 노출 -악취발생원으로 작용	
[A05]	분뇨 이송라인 밀폐화	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단	
[A06]	분뇨 이송라인 누수 관리	-시각적 냄새 차단 -분뇨 이송라인 누출여부 상시 점검	
[A07]	분뇨 이송거리	-돈사에서부터 집수조까지 이송거리 -거리가 멀수록 잠재적 악취발생 위험 노출	
[A08]	악취측정 ○ 슬러리 배출구 ○ 집수조 상부	-암모니아, 황화수소 측정 -측정기 모델 기록 -외기환경 기록 등	
[B] 고액분리시설		악취관리 평가지표	악취관리 매뉴얼 도출
[B01]	고액분리기 보유 대수	-일반적으로 1~2대 설치·운영 -2차에 걸쳐 처리 시 액비화조 유입부하(악취발생) 저감	-고농도 양돈분뇨는 물리적 전처리 공정인 고액분리과정에서 효과적으로 고형물이 제거(분리)되어질 때 후처리 부하를 줄일 수 있음. -효과적인 고액분리는 후단 시설(퇴·액비화 및 정화처리)의 규모 감소 뿐 만 아니라 퇴·액비화 및 정화처리 과정에서 발생하는 이익으로 시설비와 운영비를 절감함 -양돈농가에서 사용하는 고액분리기(기계적 고액분리)는
[B02]	고액분리기 종류	-개방식구조: 경사·진동스크린, 벨트프레스 -밀폐식구조: 스크류압착, 드럼스크린, 원심분리기	
[B03]	고액분리기 설치 연도	-시설 노후화 시 처리효율 저감 -잠재적 악취 발생 차단	
[B04]	고액분리기 설치비 및 운영비	-일반현황	

		-경제성 평가	
[B05]	고액분리기 약주 여부	-일반적으로 벨트프레스, 원심분리기에서 사용 -액상에서 유기물질 저감되나 고형물 중 중금속농도 상승	<p>대부분 ①스크린방식(진동스크린, 경사스크린, 드럼스크린), ②압착방식(롤러, 벨트 및 스크류), ③상기 중 2가지 이상의 기술이 결합된 형태, ④원심분리방식(데칸타 등)이 이용되고 있음</p> <p>-고액분리는 2차 처리를 할 경우 고형물 처리효율을 극대화되어 액비화시설에서 유입부하가 낮아지며, 악취발생 저감</p> <p>-고액분리기의 정기적으로 청소하여 청결도 유지</p> <p>-슬러리는 가능한 신속하게 배출하고, 고액분리기로 처리하여 부패 등에 따른 악취 발생 최소화</p> <p>-고액분리를 위한 별도 공간의 확보가 필요함(고액분리시설과 퇴비화시설을 연계하는 공간의 이용이 바람직함)</p> <p>-고액분리시설은 반드시 밀폐 또는 밀폐화 된 퇴비화 시설 내부에 설치함. 퇴비화 시설과 멀리 떨어져 있을 경우 분리고형물 운반 시 분뇨누출 등으로 악취 발생</p> <p>-악취확산방지를 위하여 안개분무 등 별도의 저감장치 운영할 경우 효과적임</p> <p>-분뇨이송관로 누출방지 철저</p> <p>-항시 기기점검을 통한 유지관리 및 보수</p> <p>-협잡물 제거장치는 적정 회전수, 정상가동, 내부 협잡물 막힘 확인하고 고액분리 내부 스크린의 파손 여부 확인</p> <p>-주기적인 악취(암모니아, 황화수소 등) 측정 및 확인</p>
[B06]	고액분리기 설치 위치	-퇴비화시설 내부에 설치되는 것이 바람직 -고액분리기에 발생하는 분리고형물도 외부누출 자제	
[B07]	고액분리기 가동 시간	-최대한 맑은 날(고기압) 낮 시간 동안 실시 -풍빈도를 고려하여 탄력적 운영	
[B08]	고액분리기 처리 효율	-고액분리 전후 TS, BOD 저감효율 -BOD의 농도가 높으면 악취 원인물질 농도도 높음	
[B09]	고액분리기 청결 유지	-고액분리기를 정기적으로 청소하여 청결도 유지 -청소를 하며 기기 이상 여부를 점검	
[B10]	고액분리기 유지보수	-각 고액분리기 종류별 유지관리 항목 -소모성 부품 및 스크린 등 교체주기 점검	
[B11]	적정 밀폐화	-고액분리시설의 적정 밀폐화 -밀폐화된 퇴비사 내부에 고액분리기 설치	
[B12]	악취포집 연계	-적정한 음압후드 시설 -덕트 등 이송관로 이음새에서 악취누출 방지	
[B13]	탈취장치 연계	-탈취장치의 종류 -탈취장치의 효율	
[B14]	안개분무시설 연계	-일반적으로 밀폐화 후 안개분무시설 연계 -안개분무 운영조건(분무량 및 분무주기)	
[B15]	악취측정(고액분리기 가동)		
	o 밀폐시설 외부(=밀폐시설 없음)	-암모니아, 황화수소 측정	
	o 밀폐시설 내부	-측정기 모델 기록 -외기환경 기록 등	
	o 밀폐시설 외부(안개분무 가동)	-고액분리기의 악취측정 시 주변 악취발생원 요인 고려	
	o 밀폐시설 내부(안개분무 가동)		
[C] 퇴비화시설		악취관리 평가지표	악취관리 매뉴얼 도출

[C01]	퇴비화시설 개(동)수 및 면적	-일반현황 -충분한 퇴비 저장 면적 확보	<p>-퇴비화시설의 내외부 청결관리가 우선임. 퇴비화조 바닥 방수처리, 침출수 및 오염수 외부 유출 방지</p> <p>-일반적으로 양돈농가에서는 퇴적교반형, 자연송풍형(다공성판) 방법을 사용함. 최근 밀폐형컴포스트기 이용사례가 늘고 있음(악취관리에 효과적).</p> <p>-분리 고형분에 부자재 혼합 시 최대의 악취발생 경향있음. 수분조절재 혼합 후 퇴비 더미는 1.2m~2.0m 정도로 운영함.</p> <p>-퇴비원료가 혐기성 조건이 되면 황화합물과 저급지방산의 발생으로 악취물질의 발생이 현저해짐. 따라서 수분 및 호기성 조건을 유지하여 부패악취 발생 억제함.</p> <p>-송풍장치의 정상 여부 관리함. 퇴비화 교반작업을 자주하여 공기공급을 원활하게 함. 퇴비교반기가 없다면 스킨드러, 굴삭기 등으로 교반함. 교반작업은 고기압 상태에서 1일 1~2회 실시함.</p> <p>-주기적인 냄새물질 확인 및 곰팡이(방선균)발생 등을 점검하여 퇴비의 부숙상태를 상시 확인함</p> <p>-충분한 퇴비 저장 면적 확보함.</p> <p>-필요시 비닐시트피복, 톤백, 압롤박스 등은 저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감 최소화. 필요시 미생물제를 살포하여 운영함.</p> <p>-퇴비화 시설에서의 악취가스는 측사에 비해 매우 높은 농도(암모니아 수백~수천 ppm)로 발생함. 반드시 밀폐, 음압포집 및 탈취시설 연계 필요함.</p> <p>-퇴비화시설의 내부 용적이 큰 경우 내부를 이중구조로 밀폐화 또는, 발효조를 1개조 마다 덮거나 커튼 등으로 나누는 등 내용적을 최대한 적게 설치함.</p> <p>-내용적이 불필요하게 클 경우 환기량이 많아지고, 탈취시설의 규모가 너무 크게 됨. 또한, 운전 비용도 증가하게 되므로 애로사항이 가중될 우려가 있음.</p>
[C02]	퇴비화시설 내·외부 청결 관리	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단, 운영 중 분뇨의 누출 차단	
[C03]	퇴비화시설 운영방법	-단순퇴적식, 퇴적통풍식, 기계교반식, 밀폐형컴포스트 등 -각 퇴비화 방법에 따른 악취관리 계획	
[C04]	퇴비화시설 설치연도	-시설 노후화 시 처리효율 저감 -잠재적 악취 발생 차단	
[C05]	퇴비화시설 설치비 및 운영비	-일반현황 -경제성 평가	
[C06]	퇴비화시설 정상가동 여부	-정상 퇴비화 조건(영양분·수분·공기·미생물·온도·기간 등) -퇴비단 높이, 퇴비화 시 뒤집기, 교반 등 적정 운영	
[C07]	퇴비화시설 유지보수	-각 퇴비화 방법별 유지관리 항목 -송풍기 및 소모성 부품 등 점검	
[C08]	발효조 구획 나눔	-발효조를 1개조 마다 구분하고, 커튼 등으로 나눔 -각 발효조 및 저장조에 개별 밀폐	
[C09]	수분조절재 활용	-수분조절재 종류(톱밥, 완겨, 수피 등) 및 적정 사용량 -퇴비원료 장기 저장시 수분조절재로 상부 산포	
[C10]	냄새저감 및 발효촉진 미생물 활용	-저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감에 도움 -냄새확산 저감 후 탈취처리 시 효율증가	
[C11]	퇴비 부숙도 수준	-일반점검(자가 센서측정) 및 정밀점검(분석의뢰) -미부숙 퇴비 악취발생	
[C12]	비닐시트 피복, 톤백, 압롤박스 등 활용	-저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감 최소화 -냄새확산 저감 후 탈취처리 시 효율증가	
[C13]	적정 밀폐화	-대형 퇴비화시설은 내부를 이중구조로 밀폐화 -내용적이 불필요하게 클 경우 환기량이 많아짐	

[C14]	환기구 및 배기(후드)구 위치	-풍향 및 민가의 방향 고려 -적정 환기량 산정 및 효율적 탈취장치 연계 고려	<p>-환기량은 밀폐화 시설 내 공간용적(내용적에서 퇴비 퇴적량을 뺀 나머지 양)의 공기를 시간당 8~10회 정도 환기하는 양으로 하며, 송풍시설이 있는 경우에는 송풍량까지 포함하여 산정함.</p> <p>-퇴비화시설의 밀폐화가 어려울 경우 윈치커튼으로 악취 확산 최소화하며 안개분무 등으로 악취저감에 노력함. 기본적으로 개방형 퇴비사의 경우 무취화를 전제조건으로 확립 함(3차 발효 조건)</p>
[C15]	악취포집 연계	-적정한 음압후드 시설 -덕트 등 이송관로 이음새에서 악취누출 방지	
[C16]	탈취장치 연계	-탈취장치의 종류 -탈취장치의 효율	
[C17]	안개분무시설 연계	-일반적으로 밀폐화 후 안개분무시설 연계 -안개분무 운영조건 (분무량 및 분무주기)	
[C18]	악취측정	<p>-암모니아, 황화수소 측정 -측정기 모델 기록 -외기환경 기록 등</p>	
	o 퇴비화시설 외부(=밀폐시설 없음)		
	o 퇴비화시설 내부		
	o 밀폐시설 외부(안개분무 가동)		
	o 밀폐시설 내부(안개분무 가동)		
	o 각 발효조별 퇴비단		
[D] 액비화시설(액비저장조 포함)		악취관리 평가지표	악취관리 매뉴얼 도출
[D01]	액비화시설 유효 처리용량(발효조 및 저장조 개(조)수)	-일반현황 -액비처리 시 충분한 유효용량 확보	-액비화조에서는 호기성 미생물의 활성 유지 및 유기물질을 산화·분해할 수 있도록 지속적인 공기(산소) 공급을 통하여 용존산소가 부족하지 않은 상태로 유지하여야 함.
[D02]	액비화시설 내·외부 청결 관리	-시각적 냄새 차단 -잠재적 악취발생 차단, 운영 중 분뇨의 누출 차단	-액비발효조의 공기공급량은 BOD농도 11,000~22,000 mg/L, 액비화 일수 15~30일 기준 시 호기성 액비화조 단위용량당 공기량은 0.03 m ³ air/m ³ ·min로 설계함.
[D03]	액비화시설 운영방법	-장기폭기, 액비순환, 밀폐형고속발효, 액비저장조 등 -각 액비화 방법에 따른 악취관리 계획	-액비화 시설의 기본적인 냄새저감 대책은 적정 호기 조건을 충족하여 정상적인 액비화를 실시하고, 폭기량 및 용존산소량 등을 상시 점검하여 혐기성 상태의 방지 및 부패성 악취의 발생을 억제하는 것임.
[D04]	액비화시설 설치연도	-시설 노후화 시 처리효율 저감 -잠재적 악취 발생 차단	
[D05]	액비화시설 설치비 및 운영비	-일반현황 -경제성 평가	
[D06]	액비화시설 정상가동 여부	-정상 액비화 조건(유입부하, 적정 공기 공급량 등)	-유입원수는 고액분리 등 전처리를 통하여 BOD 및 TS를

		-발효조 및 저장조 상시점검(거품발생, 수위, 센서 등)	
[D07]	액비화시설 적정 수위 유지	-여유율을 두어 약 60~70% 유지 -고농도 유입부하 시 거품 대량발생	
[D08]	액비화시설 유지보수	-각 액비화 방법별 유지관리 항목 -브로워, 에젝터노즐 및 소모성 부품 등 점검	
[D09]	냄새저감 및 발효촉진 미생물 활용	-저비용으로 간편하게 발생원 냄새저감에 도움 -냄새확산 저감 후 탈취저리 시 효율증가	
[D10]	액비 부속도 수준	-일반점검(자가 센서측정) 및 정밀점검(분석의뢰) -미부속 액비 악취발생	
[D11]	적정 밀폐화	-액비화시설(저장조 포함)의 적정 밀폐화 -밀폐화 시설의 작업용 맨홀에 덮개 설치	
[D12]	환기구 및 배기(후드)구 위치	-풍향 및 민가의 방향 고려 -적정 환기량 산정 및 효율적 탈취장치 연계 고려	
[D13]	악취포집 연계	-적정한 음압후드 시설 -덕트 등 이송관로 이음새에서 악취누출 방지	
[D14]	탈취장치 연계	-탈취장치의 종류 -탈취장치의 효율	
[D15]	악취측정		
	o 발효조 상부		
	o 발효조 내부 (밀폐화 시)	-암모니아, 황화수소 측정 -측정기 모델 기록	
	o 발효조 주변 1~2m	-외기환경 기록 등	
	o 저장조 상부	-액비화시설은 퇴비화시설과는 달리 형태(콘크리트/법랑판넬 등)와 구조(지상/지하 등)가 농가마다 상이하므로	
	o 저장조 내부 (밀폐화 시)	환경에 따라 적절히 대응함.	
	o 저장조 주변 1~2m		

최대한 저감하여, 폭기시 거품발생의 문제점을 해소해야 함. 유입되는 분리 액상물의 TS의 농도를 1%전후 목적으로 운영함.

-발효조 운영초기에는 부속발효액비를 1/3정도 투입하여 미생물을 활성화하는 방식으로 운전함. 적절한 공기량의 공급이 필수적이며, 필요시 농축산소 또는 액화 산소 등을 사용함.

-액비화 과정 중에는 일반점검(pH, DO, EC, ORP, 온도, 발효조 갈색화 변화 등) 및 정밀점검(TN, TP, K, NaCl, 중금속, 부속도, 종자발아지수 등)을 수행하여 최종 생산 액비의 품질관리 프로그램(매뉴얼)을 운영함.

-액비화시설의 내부순환펌프, 이송펌프, 브로워, 수위계 등을 상시 점검하여 유지·보수함.

-액비화시설에서는 개방형 살수식 액비처리장 사용 자제해야함. 즉 비가림시설을 포함한 밀폐화 및 강제 환기를 통해 스크러버 및 탈취탑 등의 냄새저감장치로 처리가 바람직함. 밀폐화 시설의 작업용 맨홀에는 반드시 덮개를 설치하여 운영함.

-환기량은 밀폐화 시설 내 공간용적(액상물 저장 용적을 뺀 나머지 양)의 공기를 시간당 8~10회 정도 환기하는 양으로 하며, 송풍시설이 있는 경우에는 송풍량까지 포함하여 산정함.

[E] 악취저감기술		악취관리 평가지표	악취관리 매뉴얼 도출
[E01]	공통사항	<p>-농가 조건, 설비 크기 및 재질에 따라서도 악취저감기술 별 비용 변동의 폭이 큼.</p> <p>-통상 탈취 환기량이 커지면 그만큼 장치도 커지는 만큼 설비비가 높아지므로 경비가 과대하게 소요됨.</p> <p>-운전관리와 보수점검 및 정비가 불충분하면, 본래의 탈취기능을 발휘할 수 없음. 업체가 제공하는 운전 매뉴얼, 보수점검 매뉴얼, 비상대책 매뉴얼 등을 잘 이해해서 그 순서에 따른 운영 및 보수점검을 함.</p> <p>-운전 데이터와 보수점검 및 정비기록을 상세히 정리·보관하고, 악취저감 효율에 대한 분석자료를 만들 필요가 있음.</p>	<p>-탈취탑(스크러버)은 물 또는 약품을 반응기 상단에서 분무하여 기액이 접촉하는 동안 화학적 작용에 의해 악취 물질을 흡수 및 제거하는 방법임. 대량의 물이 필요하므로 별도의 배수 대책도 필요함. 특히 약액처리 폐액을 적정한 방법으로 처리해야함. 설치비가 비교적 고가이며, 약품비용 및 폐수처리 비용이 소요됨.</p> <p>-바이오필터는 악취가스를 필터에 통과시켜 미생물에 의해 악취 물질들을 산화·분해하는 방법이며, 일반적으로 중~저농도의 악취가스 처리에 적용됨. 통기저항이나 압력손실로 인해 특수한 휠(송풍시설) 설치가 요구되는 경우 있음. 시스템의 설치비가 비교적 저렴하고 운전이 용이하며, 폐수가 발생되지 않으나 충전재(담체)의 정기적 교체가 필요함.</p> <p>-안개분무시스템은 전용 노즐 이용으로 평균 5~50um의 미세안개(연무) 입자를 생성하며, 충분한 시간 동안 기액 접촉으로 반응. 분진을 바닥으로 가라앉혀 악취확산을 억제함. 물과 악취(가스 및 분진)와의 접촉이 양호해야 함. 밀폐된 공간에서 환기 등 바람의 영향이 없어야 효과적임. 잦은 노즐막힘 현상으로 운영상 애로사항이 발생함.</p>
	o 설치비 및 유지비용		
	o 처리대상 악취물질 종류 및 농도		
	o 악취발생원별 밀폐화 시설의 내용적		
	o 악취포집량에 따른 송풍시설 설계		
	o 악취포집 및 이송배관 누출여부		
	o 탈취장치 운전 매뉴얼		
	o 운전데이터, 보수점검 및 정비기록		
o 비상시 대책 매뉴얼			
o 악취측정(처리효율 검토)			
[E02]	악취저감기술 점검 (탈취탑, 바이오필터, 안개분무)		
	탈취탑 내·외부	-누수 및 가스누출 여부, 탈취장치 내외부 청소	
	스프레이노즐	-폐색현상 점검	
	가스유량 및 압력손실	-가스유량, 정압, 온도 등 점검	
	순환펌프	-순환수량, 토출압력, 이상음, 진동 등 점검	
	물탱크	-보급수량 점검, 협잡물 유입 차단	
	약액탱크	-약액량 점검	
	약액주입펌프	-밸브교환, 토출압력, 이상음, 진동 등 점검	
	교반기	-V벨트, 그리스 보완, 볼트이완 등 점검	
	모니터링센서	-pH 등 전극 교정 및 교환, 지시치 점검	
	폐액 배수관리	-폐액 적정 처리	
	충진재	-재질, 충전비율, 수분량, 충전재 교체 주기	
	체류시간	-악취와 세정액 또는 안개분무 및 충전재와의 접촉시간	

2.4. 축산농장 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리매뉴얼 제작

가. 축사 및 분뇨처리장의 악취발생 요인 및 제어방법 등 국내·외 자료 조사

1) 바이오필터 기술

- 돈사에서 발생하는 악취는 알데히드, 알코올, 아민, 암모니아, 에스테르, 인돌, 메르캅탄, 유 악취를 제어하기 위한 방법은 크게 물리·화학적 방법과 생물학적 방법으로 구분되며 물리·화학적 악취저감기술로는 활성탄 흡착, 세정법, 냉각응축법, 촉매연소법, 직연소법, 탈취제 등을 이용한 방법들이 있음.
- 물리·화학적 방법은 안정적인 처리 효율을 나타낸다는 장점이 있으나 직·촉매연소방법 운전시 유가에 의한 높은 운전비용이 문제가 되며 활성탄 흡착, 세정법, 냉각응축법은 2차 오염물질의 발생과 같은 여러 단점들이 대두됨.
- 반면 생물학적 악취제어 방법은 담체의 표면에 미생물막을 형성시켜 부착미생물에 의해 악취 유발물질을 생분해시키는 기술로서 물리·화학적 방법에 비해 유지관리비용이 적어 경제 적이며 2차 오염물질의 발생이 적다는 장점이 있으나 악취물질 부하량에 따라 제거효율이 안정적이지 못하고 운전조건에 따라 악취 제거효율의 급변화를 제어하기 어렵다는 단점이 있음.

<표 107> 물리·화학적 방법과 생물학적 방법의 장·단점

	장 점	단 점
물리·화학적 방법	안정적인 처리 효율	높은 운전비용 2차 오염물질 발생
생물학적 방법	낮은 유지관리비용 2차 오염물질 발생이 적음	악취물질 부하량에 따른 제거효율이 안정적이지 못함 운전조건에 따른 악취 제거효율 급변화 제어 어려움

- 대표적인 생물학적 악취제어 방법으로 충전형 바이오필터(packed-bed materials)방법이 있는데 충전담체 표면에 미생물막을 형성시킨 후 부착미생물에 의해 생분해시키는 방법으로 하수처리장, 화학공장, 목재가공공장 및 매립지가스와 토양 증기 추출시 발생하는 휘발성 배기가스를 처리하기 위한 현장에 적용되어 이용되어지고 있으며 퇴비화 시설과 양돈 축사에서 발생하는 복합악취와 VOCs(Volatile organic compounds) 처리에도 적용되고 있음.

<표 108> 바이오필터 공정의 장·단점

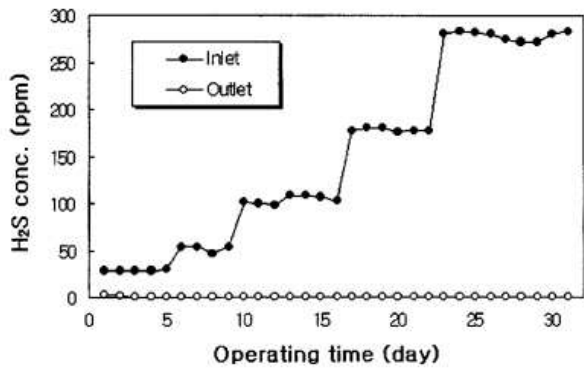
	적 용	장 점	단 점
바이오 필터	악취와 VOCs 제거를 위해 이용 주로 1g/m ³ 이하의 VOC농도 제거에 이용	낮은 초기 투자비용과 유지관리비용 다양한 종류의 악취저감이 가능 운영관리와 유지가 용이함 불필요한 오염물질이 생산되지 않음 낮은 압력강하	높은 농도의 악취에는 낮은 처리효율을 보임 바이오필터 반응기 설비를 위한 넓은 면적의 소요 운전 조건을 엄격히 제어해야 함 담체의 제한된 수명 미생물입자에 의한 단극현상이 발생함

- 바이오필터방법은 경제적이며 2차 오염물질이 적다는 장점이 있었으나 바이오필터 내부 미생물 증식에 따른 바이오매스의 관리가 정상적으로 이루어지지 않을 경우 바이오매스가 축적되어 압력강하와 폐색현상이 발생하며 담체내의 물질이 이동할 수 있는 비표면적의 감소로 바이오필터의 성능이 낮아지게 되어 압력강하와 단극현상을 풀기위한 기술이 요구되고 있음(Ryu, 2010)
- 바이오필터에 사용되는 담체로는 천연물질담체와 인공담체가 사용되고 있으며 천연물질담체로는 퇴비, 나무껍질, 활성탄등의 유기성물질이 있으며 인공담체로는 세라믹 입상구조체, 플라스틱 구조체, 우레탄 및 섬유성 구조체 등이 있음(송, 2007)
- 천연 유기물질 담체의 경우 가격이 저렴하며 오염물질을 분해시킬 수 있는 미생물과 영양염류를 자체적으로 포함하고 있다는 장점이 있으나 압밀(compaction)이나 압력손실 증가 현상 및 영양염류의 고갈에 따라 외부에서 질소원을 공급해줘야 하는 등의 문제가 발생할 수 있음(Graham, 1996)
- 천연 유기물질 담체의 문제점을 보완하기 위해 개발된 인공담체의 경우 일반적으로 화학적·기계적 내구성과 안정성이 뛰어나며, 다양한 공극 구조를 갖는 구조로 성형하기 쉬운 장점이 있는 반면 운전 초기 미생물 성장 및 생물막 형성 어려움이 있으며 지속적으로 영양염류의 공급이 요구어진다는 점과 미생물을 최적의 조건에서 유지·조절하기 어렵다는 단점이 있음(Allen, L, 2000)

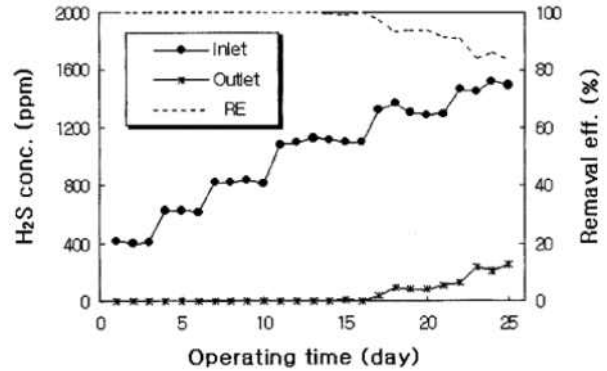
<표 109> 충전제(담체)별 주요 악취저감 항목 (2015, Barbusinski, K et al, poland)

충진제(담체)	주요제거 악취	자료출처
나무 껍질	암모니아 디메틸설파이드	Weckhuysen et al., 1994; Hong and Park, 2004 Smet et al., 1996b
Wood-based media	암모니아 황화수소 디메틸설파이드	Shareefdeen et al., 2002
퇴비	디메틸설파이드 황화수소	Smet et al., 1996a; Smet et al., 1997 Yang and Allen, 1994a; Morgan-Sagastume et al., 2003
퇴비 + 활성탄	암모니아	Liang et al., 2000
세라믹	황화수소	Shinabea et al., 1995
Granulated sludge	암모니아 황화수소	Malhautier, et al., 2003
granular activated carbon	황화수소	Rattanapan et al., 2009
Fuyolite	암모니아	Kim et al., 2000
Activated carbon fabric	메틸메르캡탄	Lee and Shoda, 1989
Porous silica packing	황화수소	Zhang et al., 2007

- 일반적으로 바이오필터는 <표 109>과 같이 중·저농도의 악취가스 처리에 효과적이며 악취 유입농도에 대한 처리특성을 파악하고 그에 따른 제거용량을 산정하는 것이 바이오필터 설계에 있어 반드시 고려되어야 하는 중요한 인자 중 하나임.
- 이 등(2001)은 중·저농도의 황화수소 유입에 따른 바이오필터의 제거효율을 알아보기 위한 연구에서 Bacillus sludge를 화산석 담체에 주입한 후 30~280ppm의 황화수소를 유입한 시험과 400~1500ppm의 농도로 유입한 두 시험의 결과 <그림 90, 91>에서와 같이 중·저농도의 악취가스 처리에서 효과를 보았음.
- 황화수소 30~280ppm을 단계적으로 유입시켰을 시 모든 구간의 유출가스의 황화수소제거율은 100%를 보인 반면 400~1500ppm을 단계적으로 유입시킨 시험에서 1500ppm을 주입하는 15일 이후 황화수소 제거율이 낮아지는 경향으로 보아 고농도의 악취가스 유입시 저·중농도의 구간보다 제거효율이 낮았음.



<그림 90> 저·중농도 구간의 황화수소 제거효율



<그림 91> 고농도 구간의 황화수소 제거효율

2) 돈사내 분진 제어

가) 분진 제거 기술

- 축사에서서는 여러 가지 복합악취 물질들과 함께 많은 분진이 발생되며 이러한 축사의 복합 악취 및 분진을 제거하는 방법으로 첫 번째 축분 또는 축사 그 자체에서의 발생을 줄이는 방법이 있음. 두 번째는 축분 또는 축사에서 이미 발생한 복합악취와 분진을 제거하는 방법이 있음.
- 대부분의 악취제거는 두 번째 방법을 많이 사용하고 있으며 축사 또는 축분 그 자체에서 발생하는 악취를 줄이기 위한 방법으로는 축사내 축분의 저장기간을 줄이는 방법, 축분의 조성을 변화시켜 줄이는 방법, 축사내 축분처리 부분의 구조를 변경하는 방법, 가축에게 공급하는 사료성분을 조절하여 줄이는 방법 등 여러 가지가 있음.

- 사료첨가제

- 축사에서 발생하는 호흡성분진(Respirable dust)은 주로 축분으로부터 발생을 하기 때문에 사료첨가제를 이용하여 줄일 수 있음.
- 가축에게 급여하는 사료에 동물성 지방을 첨가함으로써 먼지발생을 낮출 수 있으나 이렇게 먼지를 줄이는 방법을 사용해도 많은 양의 먼지가 축사내 대기 중에 부유하고 있으며 악취 발생 유인물질 또한 축사내 대기 중에 많은 양이 부유하고 있음.

- 물, 오일 분무

- 물 또는 오일의 분무는 축사내에 발생한 먼지를 제거하는 방법으로 주목받고 있는데 이처럼 물과 채종유 혼합물을 사용한 실험에서 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 각각 76%, 54%, 52%의 먼지를 줄일 수 있음이 확인되었음.
- 채종유를 분무한 또 다른 실험에서는 RD(호흡성 분진)와 ID(흡입성 분진)를 각각 81%, 85% 절감할 수 있음을 확인하였으나 물과 오일 혼합물 또는 오일을 분무할 때 점성이

물과 다르기 때문에 이를 미세하게 분무할 수 있는 기술이 개발되어야 먼지조절을 자동화할 수 있을 것으로 판단됨.

- 이처럼 Oil 분무를 이용한 연구에서 먼지의 저감 효과가 50~90%에 달한다고 보고되었으며, 또한 Oil 분무에 의한 먼지저감 효과를 얻기 위해서는 물과 기름을 혼합할 때 기름 함량이 20% 이상, 분무입자 크기는 150 μ m 이상 되어야 부유중인 입자를 응집하여 떨어뜨릴 수 있는 효과가 있음을 발견하였으며 채종유를 이용한 육성돈사에서 시험결과 전체 먼지농도를 79% 줄일 수 있음을 확인하였음.
- 먼지에 대한 효과는 가축의 종류, 가축의 움직임, 깔짚재료, 계절 등에 따라 변화가 큼을 알 수 있었고, 먼지의 발생에 가장 큰 영향을 주는 요인은 가축의 배설물에 의한 것으로 알려져 있으며 이러한 축사내 발생 먼지는 가스, 미생물, 내독소(endotoxin) 등으로 알려져 있음.
- 환기율 및 공기 분배
 - 환기하여 분진을 제거하는 방식은 짧은 시간 동안 약 60%의 먼지농도를 줄일 수 있는 것으로 나타났으나 이 효과는 일시적일 뿐만 아니라 축사내부의 온도를 순간적으로 낮추어 추가적인 난방비 등이 소요되는 단점이 있음.
 - 하지만 축사내부 기류이동 패턴을 변화함으로써 내부의 발생먼지 농도를 줄이는 방법으로 즉, 먼지발생원이 많은 곳(분 처리 부분, 사료 조 등)에서의 기류 속도를 낮추어 먼지의 부유를 막는 방법으로 먼지 농도를 줄일 수 있음을 확인함.
- 먼지 입자 필터
 - 이유자돈사에서 Dry filter를 사용한 시험으로 총 먼지농도를 약 60% 감소시켰으며 이 방법에서 ID(흡입성 분진)의 제거 농도는 약 64%까지 나타났으나 잦은 필터 교체와 매번 청소해야 하는 등의 불편함과 함께 많은 운영비가 소요되기 때문에 일반적으로 이용되지 않고 있음.
- 습식 스크러버
 - 이 방법은 운영비가 비싸고 많은 노력이 소요되기 때문에 널리 이용되지 않고 축사의 경우 많은 양의 환기량이 필요하기 때문에 이 시설을 가지고 축사내부의 먼지를 제거하려면 많은 시설 투자비가 소요됨.
- 오존처리
 - North Carolina 주립대학에서 오존을 이용한 악취저감 효과를 시험하기 위하여 터널환기 시스템을 갖춘 비육돈사에 안전농도의 오존을 발생했을 때 높은 환기율에서 대조구와 비교하여 NH₃와 분진 모두 약 58%가 감소됨을 알 수 있었음.
 - 국내에서도 일부 축산농가에서 축사내부의 악취와 먼지 농도를 줄이기 위해 오존 발생기를 사용하고 있으나 이에 대한 안전사용기준, 사용했을 때의 먼지 및 악취저감 효과 등이 규명되지 않아 이 장치의 사용에 대한 각 오존농도별 먼지 및 악취저감 효과를 규명하고, 가축과 사람에 대한 안전 사용농도를 규명할 필요성이 요구됨.

- 전기 집진

- 전기집진기는 대량의 배기가스를 처리할 수 있고 유지 및 보수가 용이하므로 대기로 방출되는 입자상 오염물질들을 제거하는 장치로 널리 사용되고 있으며 전기집진은 전계에 코로나방전을 이용 가스 중의 입자에 전하를 주어(-)로 대전된 입자를 coulomb력(전기력)에 의해 집진극(+)로 이동케 하여 분리, 포집하게 됨.
- 이러한 전기 집진에 의한 분진 포집은 하나의 전하 입자와 반대 극성의 전극 사이 상호 인력에 근거를 두고 Pedersen (1993)에 의하면 1985년부터 전기 집진 실험을 진행하였으며, 하나의 이온화로 두수 당 바닥면적 1.6 m²에서 TD(;총 분진) 및 RD(;호흡성 분진) 모두 약 30% 감소되는 것을 관찰하였음.
- 또한 축사 내에서 55~60%의 효율성을 나타내는 전기 집진 장치의 시제품이 개발되었지만 전기집진에 의해 오존의 생성되는데, 이렇게 생성된 오존이 동물 건강에 위해를 끼치는지에 대해서는 앞으로 더 많은 연구가 진행될 필요가 있음.

- 방풍벽 및 방풍림

- 축사에서 발생한 먼지는 외기의 기류를 타고 인근 주택가로 확산되는데 Windbreak wall 과 barrier는 이들 기류의 흐름을 확산시켜 주택가에 도달하는 악취의 농도를 줄이기 위해 사용되고 있음.
- Windbreak wall과 barrier는 축사에서 공기를 배출하는 환기팬 쪽 일정한 거리만큼 떨어진 곳에 설치하여 축사에서 배출되는 악취성분이 이 벽에 부딪쳐 위쪽으로 확산되는 원리를 이용하여, Windbreak wall과 barrier는 축사의 배기 환기팬으로부터 4~6m 떨어진 곳에 축사의 건물높이와 같은 높이로 설치되어 지고 있음.
- 축사로부터 발생하는 악취로 인한 민원발생이 많은 지역에서 축사 또는 축분처리장 주위에 설치하여 주변으로 확산되는 악취의 농도를 줄여 효과를 볼 수 있을 것으로 판단됨.

- 축사의 구조변경에 의한 악취저감

- 이처럼 여러 가지 방법 외에도 축사의 구조변경에 의한 축사내부의 먼지 및 악취발생을 줄일 수 있음 우리나라의 축사는 가축사육 공간과 분뇨처리 공간이 별도로 마련되어 있어 가축에게서 발생한 분뇨가 일정한 량이 모이면 이를 슬러리 형태나 또는 벨트, 스크레퍼 등을 이용해 축사외부(축분처리장)로 배출함.
- 이러한 축사는 별도로 분뇨를 처리하기 위한 시설을 갖추어야 하나 미국 등을 중심으로 관심을 끌고 있는 것은 가축의 사육과 분뇨 처리를 한 곳에서 하는 방법으로 고상식 축사방법을 고안하였음.
- 고상식 축사는 2층으로 되어 있어 위층은 가축을 사육하는 공간으로 이용하고 아래층에는 가축이 배설한 축분뇨를 저장하는 공간으로 이용하게 되며 이러한 시스템을 설계하는데 있어 기본은 환기팬에 의한 강제환기시스템을 도입해야 하며 강제환기시스템을 이용시 고상식 축사에서 효과를 얻을 수 있음.

나) 사료 관리 및 액상급이시스템을 통한 축사내 분진 및 악취 관리

○ 사료관리

- 농장에서 사용되는 양돈사료 및 사료관리 방법, 형태, 수준에 따라 축사내 분진 및 가스, 악취 생성을 효과적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 분뇨내 양분 함량에도 영향을 미쳐 상당량 악취를 제어할 수 있음.
- 분뇨 발생 후 저장기간 동안 혐기분해로 인해 휘발성 황 화합물, 인돌, 페놀, 휘발성 지방산, 암모니아 및 휘발성 아민 등이 발생하며 이러한 대부분의 화합물이 아미노산과 단백질로 분해되고 휘발성 유기산 페놀 및 메탄은 대부분 특정 아미노산 및 전분의 분해 또는 유기 화합물의 분해에 의해 생성되어짐.
- 분뇨에서 배설되는 양분의 양을 줄이고 휘발성 화합물의 전구 물질을 잠재적으로 감소시켜 악취 유발물질을 초기에 제어하는 것이 중요하며 이를 위한 사료 관리 방법으로 미세 분쇄 또는 펠릿화와 같은 사료 가공 기술과 돼지의 성장단계를 더욱 세분화 하여 사료 섭취량 및 영양소 요구량에 맞게 설정하는 방법이 있음.
- 미세 분쇄를 통해 사료 입자의 크기를 줄일 경우 곡물 입자의 표면적이 증가하고 소화 효율이 영양분과 더욱 상호 작용하게 되어 소화효율이 증가함.
- 사료 입자의 크기를 1000micron에서 600micron으로 감소시킬 경우 질소의 소화율은 5~12% 증가하게 되며 분뇨내 질소 함량은 20~24% 감소하게 되지만 입자가 650~700micron보다 더 미세 분쇄를 할 경우 위궤양이 발병률이 높아져 폐사율이 높아지게 됨.

○ 액상급이시스템

- 사료와 사료공급 시스템은 돈사내 상당한 양의 분진을 발생시키며 돈사내 분진은 대기중의 가스, 악취 및 박테리아를 이동시킬 뿐만 아니라 돼지에게 호흡기 질환의 위험을 초래함.
- 사료로부터 발생되는 분진관리를 통해 축사 내부 및 외부의 환경조건을 개선시킬 수 있으며 이를 위해 분진이 적게 발생하는 사료를 급이하거나 사료배합시 1%이상의 지방을 첨가할 경우 돈사내 분진과 악취를 감소시킬 수 있음.
- 액상사료 급이 시스템을 이용할 경우 사료허실 방지로 사료비를 7~8% 절감할 수 있으며 사료로 인한 돈사내 사료분진 감소로 돼지 호흡기 질병의 원인을 차단할 수 있음.
- 액상사료 급이 시스템으로 사료와 물을 1:3 비율로 혼합하여 사용할 경우 유럽 연구에서 돈사내 악취를 23~31%까지 감소시킬 수 있다고 보고함.



<그림 92> 액상사료급이 시스템

나. 악취저감 제품의 효능 평가 시험

1) 실험 배경

- 축산악취 중에서도 돈분뇨는 악취가 심하게 발생되며 질소 유기물로부터 이산화질소, 아민 및 암모니아가 발생하며 유황 유기물로부터 황화수소, 메틸메르캅탄, 에틸설파이드 등이 발생하는 특성이 있다.(Terada,A, et al, 1993) 이러한 가축사육과정에서 발생하는 악취는 인근 민가로부터 민원을 유발하며 밀폐된 양돈장에서 발생하는 화합물의 악취 증가로 인해 돼지의 생육억제와 호흡곤란을 초래하여 양돈생산성 하락을 유발함.
- 악취로 인한 문제는 양돈업계에서 심각하게 나타나고 있으며 2013년 1월부터 2016년 1월까지 발생한 130건의 축산관련 민원중 41%가 개별 양돈농가와 관련된 민원인 것으로 조사됨.
- 이로 인해 양돈농가에서는 주변 민가의 민원과 생산성 하락이라는 문제로 사회적 입지가 약화되고 있는 실정이지만 아직까지 악취제거를 위한 효과적인 방법이 강구되지 못하고 있는 실정임.
- 이에 본 실험은 효과가 정확히 검증되지 않았으며 제품의 신뢰도에 의문이 있었던 악취저감 제제의 효과를 검증하기 위하여 실시함.
- 사료가 가축의 체내에서 잘 소화될수록 분변내의 악취유발물질인 질소화합물이 감소하여 악취저감에 유리하며 효소나 생균 등의 미생물과 관련된 악취저감 제제는 가축 장내 미생물의 성장이나 장내 균총에 직접적으로 관여해 소화에 유리한 미생물을 증가시켜 사료가 잘 소화되게 하고 이로 인해 분뇨내 유기물과 질소의 함량을 낮추는 작용과 더불어 악취유용미생물의 균총을 높여 악취 발생을 감소시킴.
- 악취저감제품인 미생물제제 사용시 악취유발물질인 NH₃, VOC, 복합악취, 휘발성 지방산의 제거된 양과 제거효율을 관찰하여 전국 지자체에서 농가에 지원하고 있는 악취저감제제에 대한 효과를 검증하고 양돈농가들의 최대 애로사항인 악취문제를 해소할 수 있는 방안을 제시하기 위해 실시함.

2) 재료 및 방법

가) 악취저감 제품 선정

- 악취저감제품의 선정방법으로는 전국 지자체별로 농가에 구매, 지원하고 있는 환경개선제중 효과검증을 원하는 제품을 신청 받아 제품을 선정하였으며 선정된 제품들은 모두 실제 유통중이거나 농가에서 사용중인 악취저감용 제품으로 구성되었으며 미생물제제 7개 무기화학제 4개 효소제 3개 총 14개의 제품을 이용하여 시험하였음.

- 미생물제제 : 7개

- 미생물제제란 균체를 포함하는 미생물의 배양물을 의미하는 것으로, 미생물이 생균 혹은

사균의 상태로 가축에게 공급되어 사료효율증가, 장내 균총의 변화, 배출되는 분뇨내 악취저감 등의 유용한 효과를 내는 것을 미생물제제라고 함.

- 무기화학제 : 4개

- 돼지는 무기태 광물질의 섭취가 필수적으로 필요하며 광물질에는 칼슘, 염소, 구리, 요오드, 철, 마그네슘, 인, 칼륨, 세레늄, 나트륨, 황 및 아연이 있으며 광물질이 부족할 경우 돼지는 식욕이 감소하게 되어 성장이 둔화되고 사료효율이 낮아지게 됨, 무기화학제 첨가로 사료효율을 높이며 이로 따라 배출되는 유기물과 질소함량의 감소로 분뇨악취저감에 효과적이게 됨.

- 효소제 : 3개

- 효소제는 미생물의 발효산물을 이용한 가장 일반적인 사료첨가제라고 할 수 있으며 이러한 효소제와 미생물제제의 가장 큰 차이점은 균체가 제품에 존재하는 것과, 농축과정에서 기타의 배양산물이 제거되었는가 하는 것으로 일반적으로 효소제는 정제과정에서 효소단백질을 제외하고는 균체를 포함한 기타의 모든 배양산물이 제거되며 미생물제제와 마찬가지로 가축에게 공급되어 유용한 효과를 나타냄.

- 제품에 사용된 미생물제제 성분은 락토바실러스, 광합성균, 방성균류 등의 미생물과 천연추출물이 사용되었으며 무기화학제로는 과산화물, 미네랄 등, 효소제로는 알칼리성프로테아제, 락토바실러스 등이 사용되었음.

나) 실험농가 선정

- 미생물제제의 효능을 평가하기 위하여 실험을 하기 위한 농가를 선정하였으며 9개 도 협의회를 통해 악취 심각 농가 및 민원발생 농가를 추천받아 농장을 선정하였음.
- 미생물에 의한 악취저감 이외에 악취저감시설 또는 환경개선제에 의한 영향은 미생물제제의 사용 전후 효능 평가에 방해되는 요소이기 때문에 실험 전 악취저감 시설 설치여부와 환경개선제 사용여부를 확인하여 미설치, 미사용 농장 14곳을 선정해 실험을 실시하였음.
- 선정된 농가는 축사형태에 따라 개방식, 무창, 개방식+무창의 형태로 각각 다양했으며 농장 조건에 따라 농장별 적용 제품을 각기 다르게 선정함.




3) 실험 방법

- 실험 실시 전 농장의 현황 조사를 위해 농가 조사를 실시하였고, 주요 농가 조사 내용으로는 농장현황, 측정치 관련사항, 악취발생 관련 현황을 조사하였으며 세부적으로 농장현황에서는 농장의 위치, 주소, 사육규모, 사육형태, 평균 출하일령, 분뇨처리방식, 울인 올라웃 여부 등을 조사 하였으며 측정치 관련사항으로는 날씨, 온도, 측정시간, 내부온도, 내부습도, 분석처 분석시간, 경과시간 등을 기록함.

- 악취발생 관련 현황을 조사하기 위해 측정동 면적, 두수, 평균 일령을 조사하였으며 측사형태 돈사 바닥형태 기존 환경개선제 사용여부, 악취저감시설 설치여부 등을 조사하여 아래 <표 49>와 같이 시험 실시 전 기본 자료로 활용함.
- 실험에 사용한 악취저감제품의 사용방법은 모두 사료, 음수 첨가형태로 사료와 음수에 첨가하여 이용하였으며 사용량은 제품별 사용량 및 희석배수에 따라 사용함.
- 농장에 악취저감제를 적용하기 전 14개의 농가에 대하여 NH₃, VOC, 복합악취, VFA 의 농도를 측정하고 암모니아, VOC측정방법으로는 악취측정시, 일반적으로 악취 발생도가 가장 높은 비육사 내부에서 악취발생도를 측정하였으며 바닥이나 천정에서 황화수소, VOC(volatile organic carbon)과 같은 특정물질이 높게 측정되는 경향을 방지하기 위해 측정인의 눈높이에서 Gastec 검지관과 VOC측정기(ppb RAE3000)를 이용해 일괄 측정을 실시하였음.
- 복합악취를 측정하기 위해 공기희석관능방법을 이용하였으며 악취평가를 위해 비육사 내부 채취자 눈높이에서 휴대용장비를 이용해 시료채취 하여 관능시험을 실시하였음
- VFA 측정시 Gas Chromatography를 이용하여 측정하기 위해 돈사내부에서 휴대용 장비를 이용해 악취시료를 포집한 후 성균관대학교 악취분석센터에 측정·분석을 의뢰하였으며 돈사내부에서 암모니아, VOC, 복합악취, VFA의 측정 및 시료 포집시 신뢰도 제고방안으로 돈사 원치를 닫고 환을 끈 상태에서 10분후 측정하였으며 이후 복합악취, VFA 측정을 위해 10분간 시료를 포집함.

가) 악취물질 분석방법

<표 50> 악취물질별 측정기기

구분	NH ₃	VOC	VFA's	복합악취
측정방법	검지관 (Gastec)	VOC 측정기 (ppb RAE3000)	기기분석 (Gas Chromatography)	공기희석관능법
				
검지관 (Gastec)	VOC 측정기 (ppb RAE3000)	기기분석 (Gas Chromatography)		

<그림 93> NH₃, VOC, VFA 악취측정 기기

<표 110> 악취저감 제품 적용 농가의 기본정보

농 가	사육규모 (두)	축사형태	환경개선제 사용여부	악취저감 설치여부	악취저감 제제 적용 방식	올인 올아웃 여부	돈사바닥 청소	주요분뇨처리	돈사바닥
A	1800	개방식(원치 등)	미사용	미설치	사료첨가 음수	미실시	미실시	퇴비, 액비	평사
B	250	개방식(창문, 원치 등)	미사용	미설치	사료첨가 음수	미실시	미실시	퇴비	평사
C	700	개방식(원치없는 개방)	미사용	미설치	사료첨가 음수	미실시	미실시	퇴비, 공공처리	평사
D	5000	개방식(원치 등)	미사용	미설치	사료첨가 음수	실시	실시	공공자원화	평사, 스크레파
E	2000	무창+ 개방식	-	-	사료첨가 음수	미실시	미실시	액비	슬러리
F	1800	무창	-	-	사료첨가 음수	실시	미실시	액비	슬러리
G	1000	개방식(원치 등)	미사용	-	사료첨가 음수	미실시	미실시	공공처리장	스크레파
H	2000	무창+ 개방식	-	-	사료첨가 음수	미실시	미실시	액비	슬러리
I	2000	개방식(창문, 원치 등)	-	미설치	사료첨가 음수	실시	실시	퇴비, 액비	평사, 톱밥
J	1477	무창	-	-	사료첨가 음수	실시	미실시	액비	반슬러리
K	800	개방식(원치 등)	불규칙 사용	-	사료첨가 음수	미실시	미실시	퇴비, 액비(위탁)	스크레파
L	-	무창+ 개방식	-	미설치	사료첨가 음수	실시	미실시	액비	슬러리
M	2600	무창	-	-	사료첨가 음수	실시	미실시	정화방류	스크레파
N	1200	개방식(원치 등)	-	미설치	사료첨가 음수	미실시	미실시	퇴비, 액비(위탁)	스크레파

4) 결과 및 고찰

가) 악취저감 제제의 효능 (NH₃, VOC)

- 악취저감 제제의 암모니아 가스 저감 효능을 평가하기 위하여 14곳의 농가에 적용하기 전과 적용후 돈사내부에서 발생하는 NH₃의 농도를 비교함, 모든 처리구의 농가에서 암모니아 가스 발생 농도는 <표 111>과 같이 감소하였으며 L농가에서 가장 높은 저감 효율인 87.7%를 나타냄, 14개 농가의 평균 제거효율은 46.82%로 악취저감 제제로 미생물제제, 무기화학제, 효소제 등을 사료에 투입하여 장내 미생물의 균총의 변화와 소화율을 증진시켜 유기물과 질소화합물의 배출되는 양이 감소한 결과로 판단됨.
- 악취저감 제제의 VOC 저감 효능을 평가한 실험에서 14곳의 농가모두 VOC농도 또한 감소한 것을 볼 수 있었으며 평균 제거효율은 49.92%로 악취저감 제품 적용만으로 약 50%의 저감 효율을 얻을 수 있었으며 악취저감 제품뿐만 아니라 악취저감 시설 등과 함께 적용 시 훨씬 높은 악취저감 효과가 나타날 것으로 판단됨.

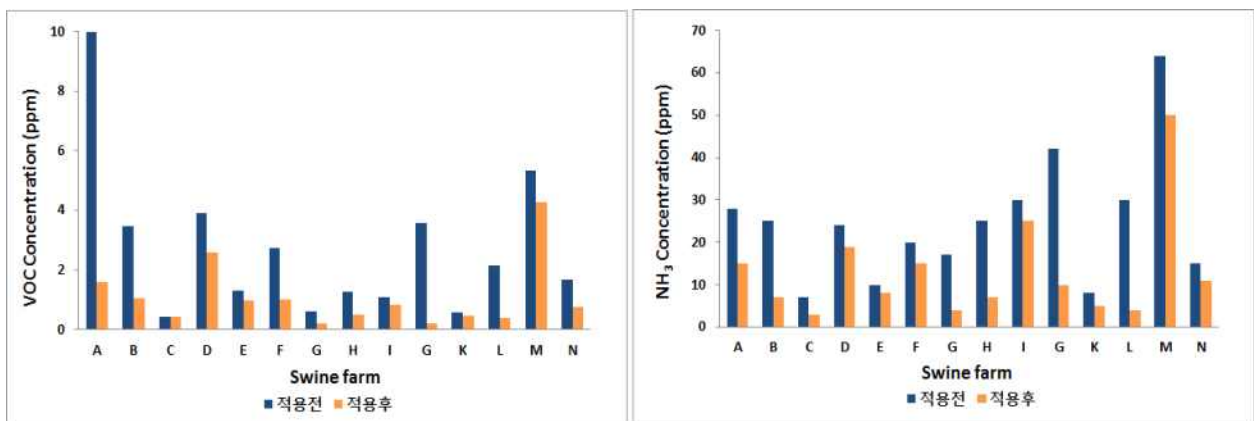
<표 111> 농가별 악취저감 제품 적용 전, 후 악취 농도 결과

구분	농가	NH ₃ (ppm)		VOC (ppm)		
		적용전	적용후	적용전	적용후	
미생물제제	7개	A	28	15	10.0	1.58
		B	25	7	3.45	1.03
		C	7	3	0.44	0.43
		D	24	19	3.91	2.57
		E	10	8	1.29	0.97
		F	20	15	2.72	1.02
		G	17	4	0.62	0.21
무기화학제	4개	H	25	7	1.27	0.49
		I	30	25	1.07	0.83
		J	42	10	3.57	0.21
		K	8	5	0.58	0.46
효소제	3개	L	30	4	2.14	0.40
		M	64	50	5.33	4.27
		N	15	11	1.68	0.76
평균		24.64	13.07	2.72	1.09	

<표 112> 농가별 NH₃, VOC 제거량과 제거효율

구 분	농 가	제거 양(ppm)		제거효율(%)		
		NH ₃	VOC	NH ₃	VOC	
미생물제제	7개	A	13	8.4	46.4	84.2
	B	18	2.4	72.0	70.1	
	C	4	0.1	57.1	2.3	
	D	5	1.3	20.8	34.3	
	E	2	0.3	20.0	24.8	
	F	5	1.7	25.0	62.5	
	G	13	0.4	76.5	66.1	
무기화학제	4개	H	18	0.7	72.0	61.4
	I	5	0.2	16.7	22.4	
	J	32	3.3	76.2	94.1	
	K	3	0.1	37.5	20.7	
효소제	3개	L	26	1.7	86.7	81.3
	M	14	1.0	21.9	19.9	
	N	4	0.9	26.7	54.8	
평균			11.57	1.63	46.82	49.92

○ <그림 95>에서와 같이 농가마다 감소된 암모니아가스 농도와 VOC의 농도가 각기 다르며 제거 효율 또한 다른데 이는 각 농가별 사육현황, 축사형태, 돈사바닥, 돈사바닥 청소 여부 그리고 사용된 저감 제제종류와 형태에 따라 차이가 나타난 것으로 보임.



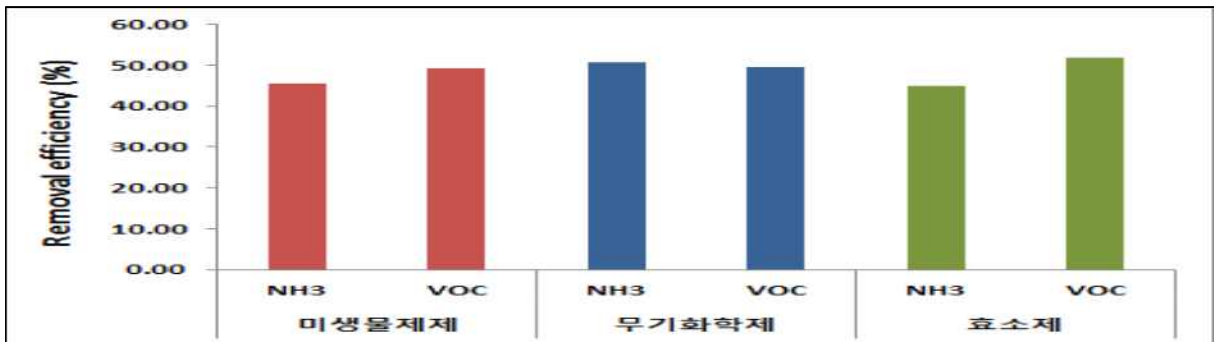
<그림 95> 악취저감 제제 적용 전, 후 NH₃와 VOC의 농도

나) 악취저감 제품 형태별 저감 효율 비교 (NH₃, VOC)

- 본 실험에서는 미생물제제 7개, 무기화학제 4개, 효소제 3개 총14개의 악취저감 제품을 이용하여 제품 형태별 저감 효율을 알아보기 위하여 실험을 실시함.
- 악취저감 제품별 NH₃ 및 VOC의 제거효율은 모두 45% 이상으로 처리 제품별 유의적 차이가 나타나지 않고 모두 높은 악취 제거효율이 나타났으며 이는 미생물제제의, 무기화학제, 효소제 모두 사료에 첨가되어 가축의 장내에서 소화율을 높여주고 배출되는 유기물 및 질소화합물의 양을 감소시키는 같은 기능을 해준 결과로 판단됨.

<표 113> 악취저감 제품별 악취제거 효율

구 분	제거효율 (%)					
	미생물제제		무기화학제		효소제	
	NH ₃	VOC	NH ₃	VOC	NH ₃	VOC
평 균	45.40	49.19	50.60	49.65	45.10	52.00
표준오차	9.10	11.06	14.24	17.55	20.85	17.78



<그림 96> 악취저감 제품별 악취제거 효율

- 그동안 농장에서 생물학적 처리법의 하나인 환경개선제를 많이 쓰고 있는 상황에서 환경개선제의 효능과 품질에 대한 농민의 불만이 있어 악취저감제품의 효능 평가가 그 어느 때보다 중요하였으며 본 실험을 통하여 악취저감제품 사용시 NH₃, VOC 각각 평균 46.82%, 49.92%의 저감 효과를 확인할 수 있었음.

다) 악취저감 제제 효능 (복합악취, VFA)

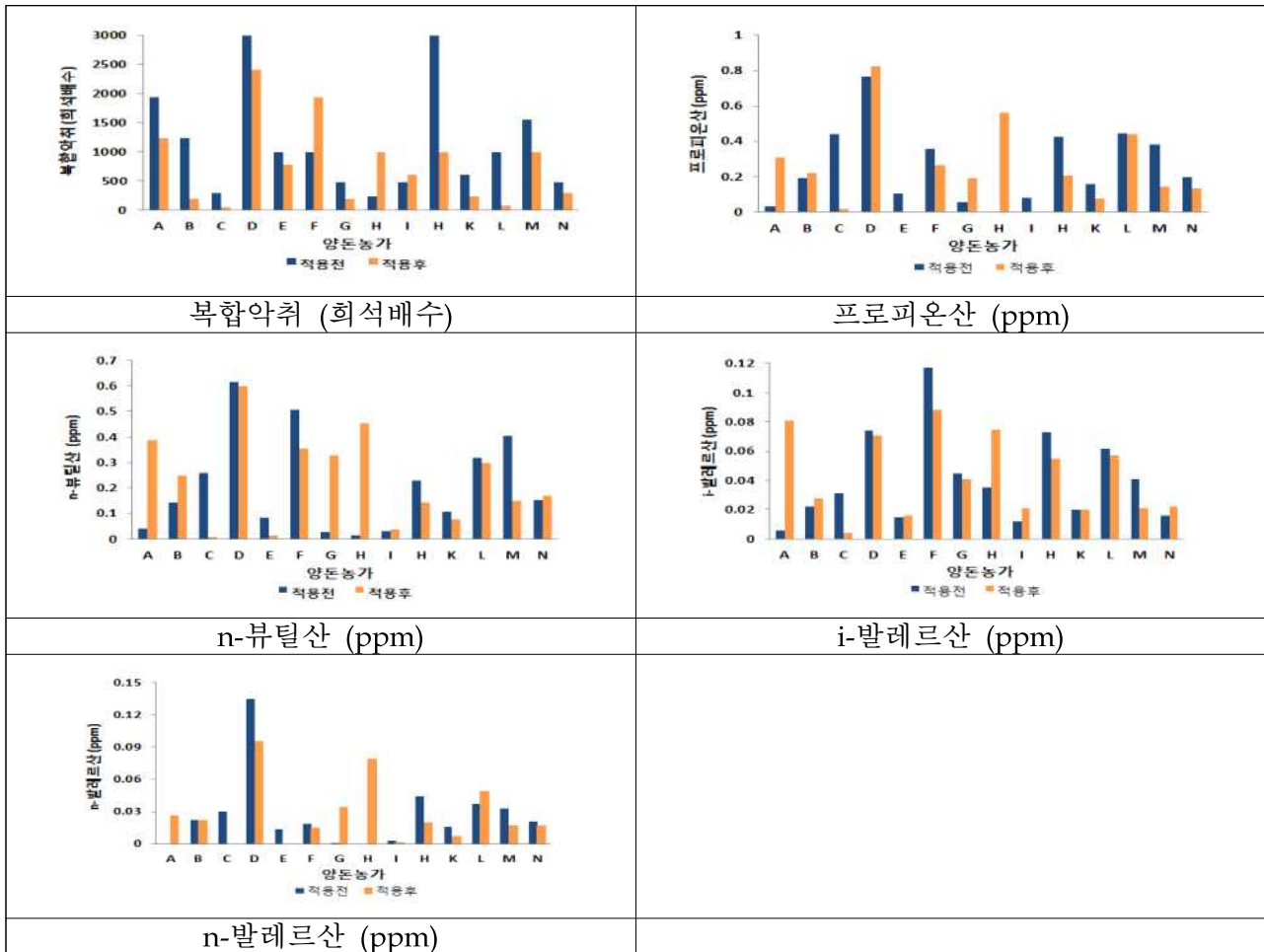
- 악취저감 제제 효능을 알아보기 위해 복합악취, 휘발성지방산(volatile fatty acids, VFA)의 적용전, 후의 농도를 측정함.
- 복합악취의 경우 14개 농가 중 3개의 농가를 제외한 11개(78%)의 농가에서 악취저감 제제

의 적용 후 악취가 감소한 것을 볼 수 있었으며 4개의 VFA는 적용 전, 후의 평균 농도를 볼 때 적용 전보다 후에 농도가 증가해 악취저감 제제가 휘발성 지방산의 감소에 효능이 미미하다고 보여지며 프로피온산과 n-뷰틸산의 경우 14개의 농가 중 9개의 농가(64%)에서 농도가 감소하였으며 i-발레르산과 n-발레르산은 14개 농가 중 각각 8개(57%), 10(71%)개의 농가에서 악취 농도가 감소해 적용 농가마다 차이를 보임.

- 측정당일 날씨, 온도 등의 환경적 요인과 악취저감 제제 적용 후 농가의 농장관리, 사육두수의 변화 등 농장 내부요인이 악취저감 효율에 영향을 끼칠 수 있겠지만 악취가 감소하지 않은 몇몇 농가를 제외한 대부분의 농가에서 악취저감 제제의 사용이 복합악취, 휘발성 지방산 뿐 만 아니라 앞서 보았던 NH₃, VOC의 농도 또한 감소하는데 영향을 끼친 것으로 판단됨.
- A,B농가의 경우 복합악취 희석배수가 1933→1245, 1245→193배수로 줄어들어 악취저감 제제의 효율이 높은 것으로 판단되었지만 휘발성지방산 4개의 농도 모두 적용전 보다 적용 후 높게 농도값이 측정되었는데 이는 사용한 악취저감 제품성능에 따라 저감되는 악취항목과 그 효율이 다르기 때문인 것으로 판단됨.
- G농가의 경우에는 NH₃, VOC 및 복합악취의 제거효율은 높은 반면 휘발성 지방산의 농도는 적용 전보다 오히려 적용 후 측정시 높은 농도 값을 보이며 악취저감제제로 인한 효과가 나타나지 않았는데 이 또한 앞서 말한 환경적인 요인과 농장내부 요인에 의한 것으로 보임.

<표 114> 농가별 악취저감 제제 적용 전,후 복합악취, 휘발성지방산 농도

농 가	복합악취		프로피온산		n-뷰틸산		i-발레르산		n-발레르산	
	(희석배수)		(ppm)		(ppm)		(ppm)		(ppm)	
	적용전	적용후	적용 전	적용 후	적용 전	적용 후	적용 전	적용 후	적용 전	적용 후
A	1933	1245	0.029	0.308	0.042	0.387	0.006	0.081	N.D.	0.026
B	1245	193	0.191	0.219	0.143	0.248	0.022	0.028	0.022	0.022
C	300	61	0.44	0.016	0.259	0.008	0.031	0.004	0.03	N.D.
D	3000	2408	0.768	0.827	0.615	0.599	0.074	0.071	0.135	0.095
E	1000	786	0.105	N.D.	0.084	0.016	0.015	0.016	0.014	N.D.
F	1000	1933	0.356	0.266	0.507	0.355	0.117	0.088	0.019	0.015
G	485	193	0.057	0.192	0.029	0.328	0.045	0.041	0.001	0.034
H	240	1000	N.D.	0.563	0.016	0.455	0.035	0.075	N.D.	0.079
I	485	617	0.078	N.D.	0.03	0.039	0.012	0.021	0.003	0.001
H	3000	1000	0.427	0.208	0.228	0.145	0.073	0.055	0.044	0.02
K	617	240	0.156	0.075	0.107	0.077	0.02	0.02	0.016	0.007
L	1000	78	0.443	0.44	0.317	0.297	0.062	0.057	0.037	0.049
M	1551	1000	0.382	0.143	0.404	0.151	0.041	0.021	0.033	0.017
N	485	300	0.195	0.135	0.155	0.17	0.016	0.022	0.021	0.017
평균	1167	789	0.279	0.283	0.210	0.234	0.041	0.043	0.031	0.032



<그림 97> 농가별 악취저감 제제 적용 전,후 농도비교

다. 액비재순환돈사 악취발생특성 평가

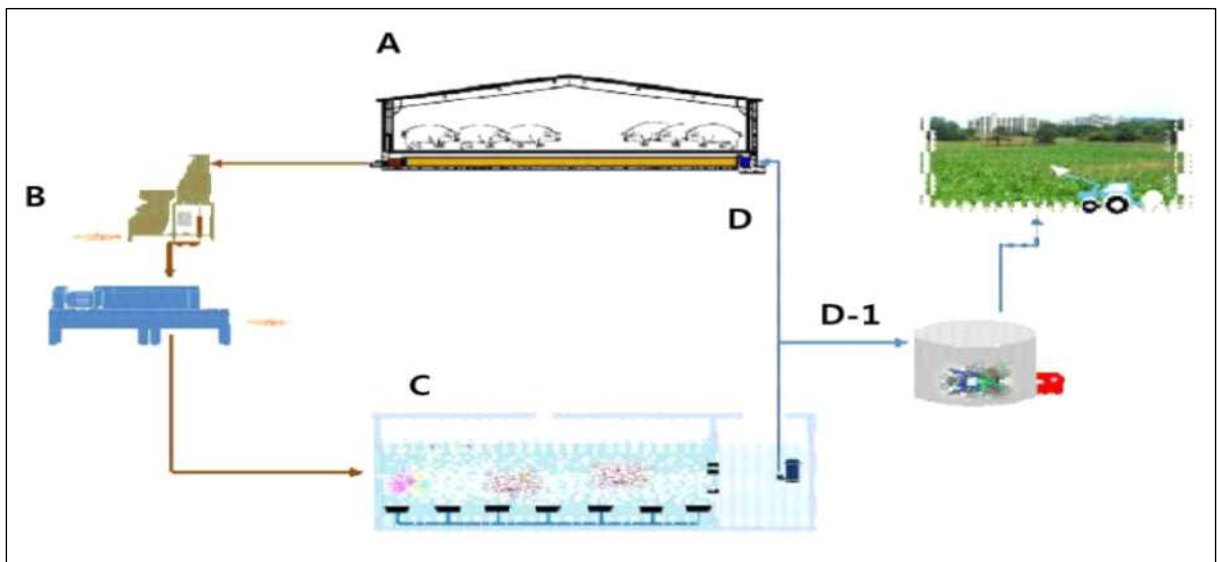
1) 실험 배경

- Power (1999)에 의하면 양돈악취는 주로 돼지의 사육시설과 분뇨의 저장시설에서 발생하며 양돈시설에서의 악취로 인한 민원은 돈사 22%, 분뇨 저장시설 17%, 분뇨살포 시 52%, 사료관련 5% 기타 1%로 분뇨에서 기인한 경우가 대부분이라고 볼 수 있음.
- 양돈시설에서 발생하는 다양한 악취물질 중에서 가장 주요한 물질은 ammonia, hydrogen sulfide, methylmercaptan, dimethyl sulfide, dimethyl disulfide인 것으로 조사되었으며 이중 특히 암모니아와 황화수소가 가장 주요한 악취발생원인 인 것으로 보고되고 있음.
- 사육단계별로 돈사 마다 차이가 있지만 두 물질이 상대적으로 고농도 발생하는 것으로 조사되었음(환경부, 2008).

<표 115> 양돈시설에서의 주요 악취 물질

parameters(ppm)	piglet	Sow (delivery)	Sow	Fattenin
ammonia	0.9~21.	1.7~6.1	2.1~6.7	1.5~11.3
hydrogensulfide	0.029~0.596	0.042~2.183	0.052~6.712	0.042~2.903
methylmercapta	0.01~0.013	0.009~0.01	0.01~0.01	0.01~0.011
dimethylsulfid	0.003~0.005	0.000~0.003	0.002~0.003	0.000~0.005
dimethyldisulfid	0.002~0.00	0.002~0.003	0.002~0.003	0.000~0.002

- 액비순환식 돈사 시스템은 현재 국내에서 크게 주목받고 있는 양돈현장의 악취저감 방법중 하나로 사육과정에서 발생하는 슬러리 분뇨를 액비화 한 후, 그 액비를 돈사 하부의 슬러리피트로 재순환 하는 것을 반복적으로 수행하는 시스템으로 최근 양돈업계에서 이 시스템에 대한 관심도가 높아짐에 따라 다양한 이름으로 지칭되고 있으며 '축산 발효액 순환처리 시스템', '축산분뇨 순환처리시스템'등과 함께 통상 '액비순환시스템'으로 불림.
- 호기적 처리과정을 거쳐 호기성 미생물이 충만한 처리수를 슬러리피트로 재유입 함으로써 슬러리피트 내 악취유발물질의 농도를 낮춰주고 악취를 저감하는 효과와 동시에 발생된 슬러리 분뇨의 후처리공정에서 부담을 완화시켜주는 방법임.
- 액비순환식 돈사 시스템의 기본적인 운전개념은 <그림98>과 같으며(대한한돈협회, 2012) 간단히 설명하자면 슬러리피트의 분뇨 (A)를 고액분리 (B)하여 액비화 반응조 (C)로 유입한 후, 일정 처리기간을 거쳐 슬러리피트로 재유입 (D)하고 필요한 경우 액비로써 이용할 수 있음.

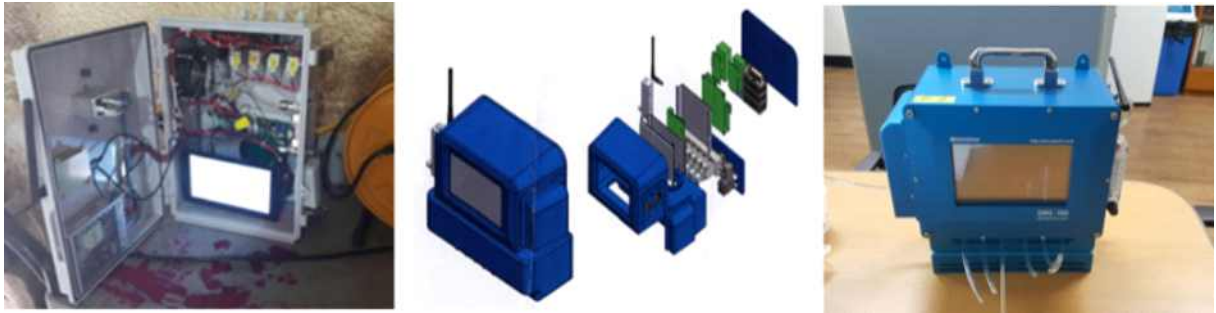


<그림 98> 액비순환식 돈사 시스템의 운전방법

2) 재료 및 방법

가) 측정장치

- 액비재순환돈사와 일반 슬러리돈사의 악취발생특성 평가를 위해 제 1협동 충남대학교에서 설계 및 제작한 악취측정기를 이용하여 측정하였음.



<그림 99> 충남대학교에서 설계 및 제작한 악취측정기

- 악취측정기를 이용해 NH₃, H₂S 항목을 측정하였으며 환기량 측정을 위해 <그림 32>의 포토 센서를 이용한 환기 측정 장치를 환기팬에 설치하여 환기량을 측정함.



<그림 100> 포토센서를 이용한 환기량 측정 장치

나) 돈사특성

- 돈사유형: 무창돈사(액비순환시스템 적용), 육성-비육돈
- 사육밀도: 약 0.76m²/두 (비육돈 기준)
- 악취측정대상 돈방 크기: Batch 당 209m²(19x11m) 면적의 4개 돈방(돈방 당 240두)
- 돈방별 3기의 환기팬(55cm: 126CMM 1개, 100cm: 258CMM 2개) 가동 중



다) 연구수행 방법

- 기기분석을 활용한 Onsite 실시간 악취성분 측정하였으며 측정 항목으로는 암모니아, 황화수소, 환기량을 측정하였으며 1차 실험과 2차 실험으로 나누어 실시함.
- 1차 시료측정 지점

<표 116> 시료 측정 지점별 돼지사육현황(1차측정)

밸브 번호	시료 측정 지점	비 고
Gate 1	1번 돈방	약 35kg 육성돈240두, 액비순환X
Gate 2	3번 돈방	약 100kg 비육돈240두, 액비순환X
Gate 3	4번 돈방	약 95kg 비육돈240두, 액비순환O
Gate 4	7번 돈방	약 45kg 육성돈240두, 액비순환O

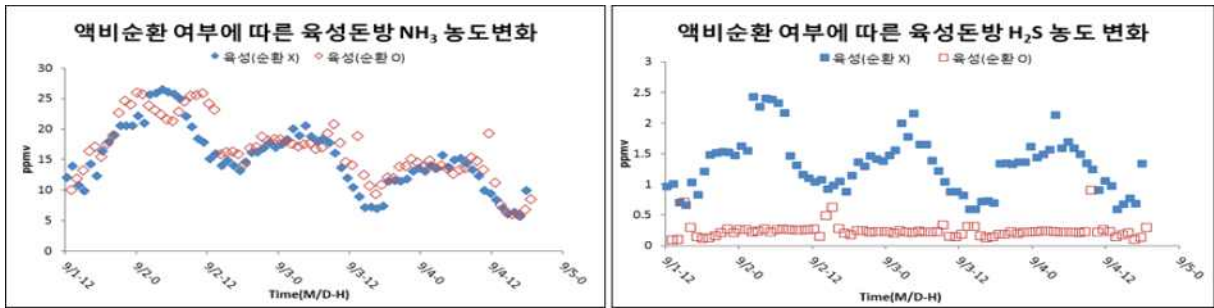
- 2차 시료측정 지점

<표 117> 시료 측정 지점별 돼지사육현황(2차 측정)

밸브 번호	시료 측정 지점	비 고
Gate 1	1번 돈방	약 60kg 육성돈240두, 액비순환X
Gate 2	3번 돈방	약 30kg 육성돈240두, 액비순환X
Gate 3	4번 돈방	빈 돈방, 액비순환O
Gate 4	7번 돈방	약 60kg 육성돈240두, 액비순환O

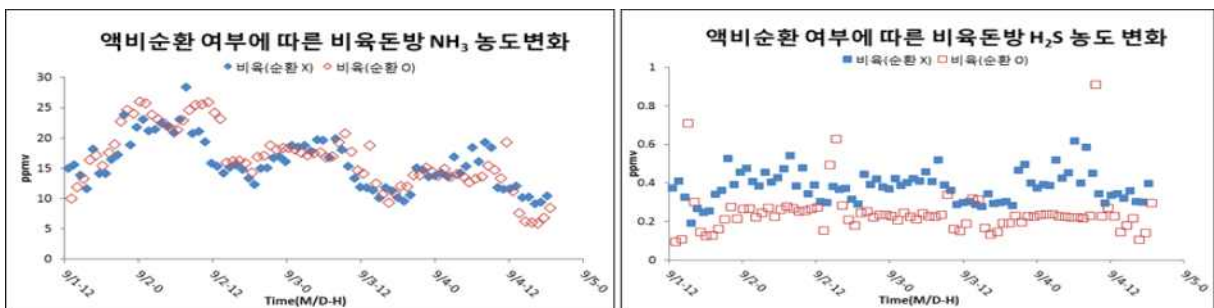
3) 시험결과

가) 1차 시험



<그림 114> 액비순환 여부에 따른 육성돈방 NH₃, H₂S 농도 변화

- 육성돈방의 암모니아 발생 평균 농도를 측정한 결과 액비순환이 되지 않는 돈방의 암모니아 농도는 $15.1 \pm 0.6 \text{ mL/m}^3$ 이며 순환 하고 있는 돈방의 농도는 $16.5 \pm 0.6 \text{ mL/m}^3$ 로 순환하지 않는 돈방에 비해 오히려 9.3%가 증가하였음.
- 이는 초기 농장의 액비화조 액비 성상의 요인에 의해 발생한 문제로 액비화시설의 정상적인 작동이 이루어지지 않을시 액비재순환 시스템을 이용하여 돈사 슬러리 피트의 분뇨를 순환시켜도 돈방의 암모니아 농도 저감 효율을 기대하기 어렵다는 것을 파악 할 수 있었음.
- 황화수소의 농도를 비교해보면 순환하지 않은 돈방 $1.32 \pm 0.05 \text{ mL/m}^3$ 순환시킨 돈방 $0.24 \pm 0.01 \text{ mL/m}^3$ 로 순환하지 않은 돈방에 비해 순환시킨 돈방에서 81.8% 낮은 황화수소 농도를 알 수 있었음.
- 이는 액비순환시스템을 이용시 장점으로 액비화조에서 호기적 반응을 하던 액비가 슬러리 피트로 순환되게 되어 황화수소의 발생이 저감되는 효과로 액비재순환의 여부를 파악하는 중요한 진단 단서로 황화수소의 발생을 확인해볼 수 있다고 판단됨.

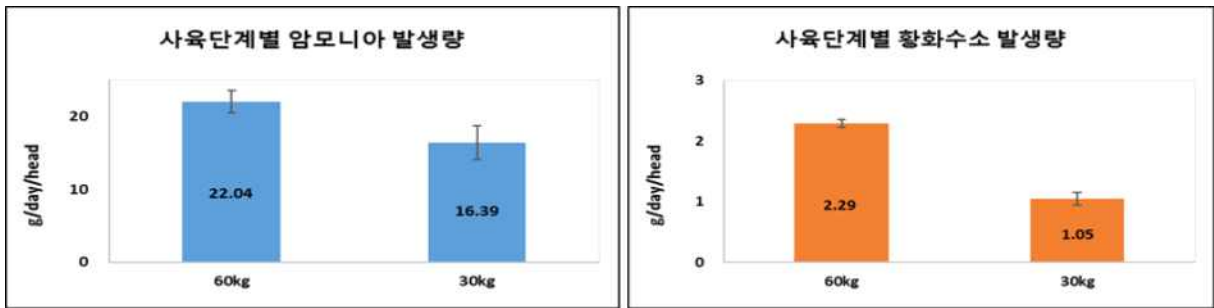


<그림 115> 액비순환 여부에 따른 비육돈방 NH₃, H₂S 농도 변화

- 비육돈방의 암모니아 발생 평균 농도를 측정한 결과 액비순환이 되지 않는 돈방의 암모니아 농도는 $15.9 \pm 0.5 \text{ mL/m}^3$ 이며 순환 하고 있는 돈방의 농도는 $12.3 \pm 0.3 \text{ mL/m}^3$ 로 순환하지 않는 돈방에 비해 22.6%가 감소하였음.

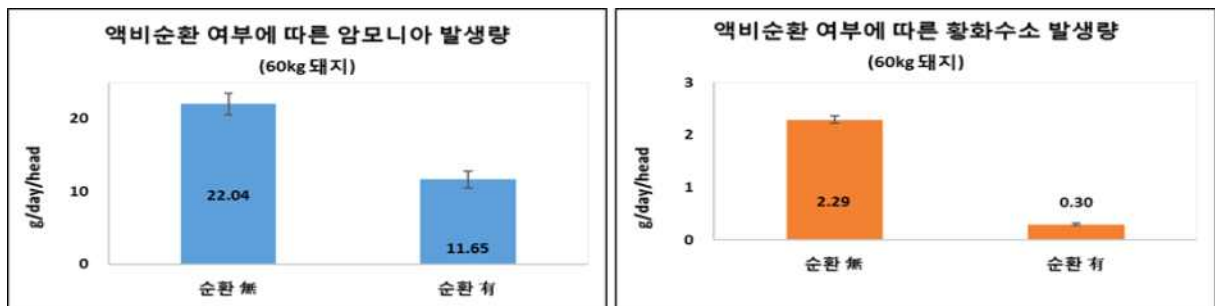
- 육성돈방의 암모니아 발생 농도와 비교하였을 때 육성돈방에서는 오히려 암모니아 발생농도가 높아진 반면 똑같이 액비순환을 한 비육돈방에서는 22.6%가 감소하는 경향을 보였으며 이는 두 돈방에서 발생하는 암모니아 총 발생량을 기준으로 저감율을 비교해 본 결과가 아닌 측정 당시의 암모니아 농도에 의한 결과이기에 발생량을 측정하는 2차 시험을 추후에 실시하였음.
- 황화수소의 경우 비육돈과 육성돈방에서 비슷하게 순환한 돈방에서 황화수소가 80%이상 감소하는 경향을 보여 액비재순환의 여부를 파악하는 중요한 진단 단서로써 황화수소의 발생을 확인할 수 있음.

나) 2차 시험



<그림 116> 액비순환 여부에 따른 육성돈 암모니아 발생량

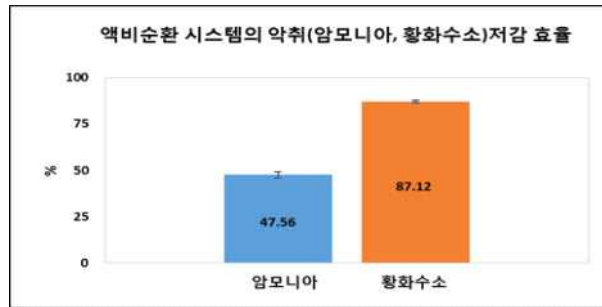
- 60kg 육성돈과 30kg 육성돈의 일일 암모니아, 황화수소 발생량을 측정하여 사육단계에 따른 발생량을 확인할 수 있었음.
- 60kg 육성돈의 두당 일일 암모니아 발생량은 22.04 ± 1.52 g/day/head, 30kg 육성돈의 발생량은 16.39 ± 2.31 g/day/head로 60kg 체중의 육성돈에서 1.3배의 발생량이 발생하였음
- 황화수소의 경우 60kg 육성돈 2.29 ± 0.07 g/day/head, 30kg 육성돈 1.05 ± 2.31 g/day/head가 발생해 60kg 육성돈의 돈방에서 2.2배 높은 황화수소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



<그림 117> 액비순환 여부에 따른 육성돈 암모니아 발생량

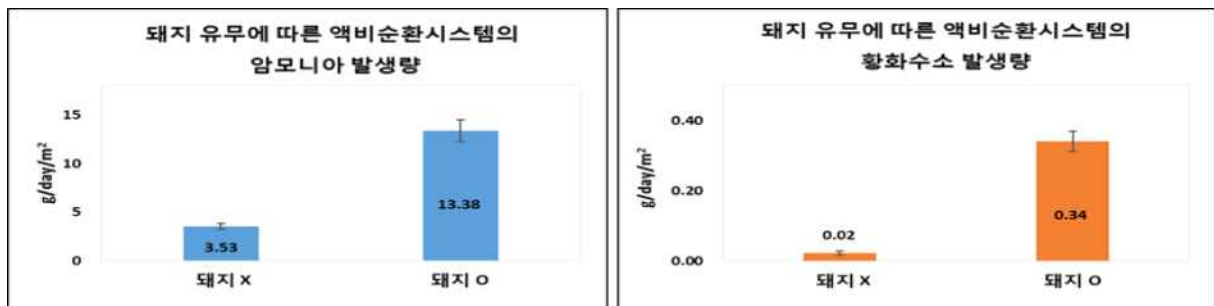
- 액비순환 여부에 따라 육성돈방에서 암모니아, 황화수소 발생량의 차이를 파악하고자 측정을 실

시하였으며 측정 결과 액비순환하지 않은 돈방에서 암모니아 황화수소 각각 $22.04 \pm 1.52 \text{g/day/head}$, $2.29 \pm 0.07 \text{g/day/head}$ 발생하였고 순환시킨 돈방에서는 $11.65 \pm 1.12 \text{g/day/head}$, $0.30 \pm 0.03 \text{g/day/head}$ 가 발생하며 순환시킨 돈방에서 암모니아 10.39g/day/head , 황화수소 1.99g/day/head 적게 발생하여 액비순환 시스템의 저감 효과를 확인할 수 있었음.



<그림 118> 액비순환시스템 악취저감 효율

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



<그림 119> 돈방 돼지 유무에 따른 액비순환시스템의 악취 발생량 측정

- 돼지가 입식해 있지 않은 돈방과 체중 60kg의 육성돈 돈방을 모두 액비순환하여 돼지 유무에 따른 암모니아, 황화수소 발생량을 파악하기 위해 실시하였음.
- 빈 돈방의 암모니아, 황화수소 발생량은 각각 $3.53 \pm 0.38 \text{g/day/m}^2$, $0.02 \pm 0.01 \text{g/day/m}^2$ 으로 이는 슬러리피트에서 발생하는 암모니아, 황화수소 발생량 나타내는 지표로 해석이 가능하며 60kg의 돈방의 악취 발생량을 측정하여 돼지 입식에 따른 암모니아 발생량을 파악하였음.
- 60kg의 돈방에서 발생하는 암모니아, 황화수소의 발생량은 각각 $13.38 \pm 1.28 \text{g/day/m}^2$, $0.34 \pm 0.03 \text{g/day/m}^2$ 으로 빈 돈방의 발생량을 빼주어 돼지 입식에 따른 암모니아, 황화수소 발생량 (9.85g/day/m^2 , 0.32g/day/m^2)을 확인할 수 있었음.

라. 오존과 이중막 바이오커텐을 이용한 돈사 악취저감 효과 검증 시험

1) 시험 배경

- 점점 사육규모가 대형화, 밀집화되고 있는 현실에 비추어 개별적인 대응보다는 축사 전체에서 발생하는 악취 민원에 대응하기 위한 악취저감 시설이 필요하게 되었으며 악취 민원에 대응하기 위하여 돈사에서 발생하는 악취를 포집할 수 있는 방진막을 돈사 측벽 외부에 설치를 하고 물리적 필터링 방식과 화학적 저감방식의 사용을 통한 양돈농가에서 배출되는 악취량의 효율적인 저감 방안을 알아보하고자 함.
- 이를 위해 농가에 설치하기 간편하며, 유지보수가 쉬운 방진막을 측벽배기구에 설치하였고 방진막의 필터 횡수에 따른 악취저감능력을 변화를 보고자 하였으며 화학적 저감제로 돈사에서 발생한 악취발생 물질을 산화시켜 알데히드(-CHO), 이산화탄소(CO₂)등으로 분해시켜 독성과 악취가 없는 물질로 바꾸어 주는 탈취작용이 가능하고 일정한 유지와 보관없이 현장에서 바로 생성되어 물에 용해할 수 있는 오존수를 산화제로 사용하여 방진막 내부에 저류되는 악취가스과 악취유발물질들의 물리적 제거와 화학적 분해를 통한 방진막의 악취저감 효율의 증가도를 알아보 고자 하였음.

2) 연구 방법

- 본 연구에 사용되는 오존발생기는 자체 제작하였으며, 악취 분석은 시중에 시판되고 있는 현장 직독식 검지관을 사용하였고, 돈사는 일반 분만 분만사 무창돈사에서 측정을 실시함.
- 실험에 사용된 방진막은 단일막의 경우 차광율 75%(그물코 2cm) 2겹을 설치, 2중막의 경우 1차 분진구역은 차광율 75%(그물코 2cm) 4겹으로 설치하였고 2차분진구역은 차광율 95%(그물코 1cm) 2겹으로 설치하여 단일막과 2중막일 때 악취발생도를 비교함.
- 내부에 오존수 발생장치(오존의 농도는 0.2ppm이하로 안정성유지)를 이용하였을 때의 단일과 2중막의 악취저감정도 역시 비교하였음.

<표 118> 돈사 및 오존수 발생장치 현황

구 분	규 격	비 고
돈사	분만자돈사, 12mx40m	무창돈사
바이오커텐	2.5m x 40m	차광율 75% 2중
	2.5m x 40m,	차광율 75% 4중
오존수 발생장치	30cm(W)x25(D)x60(H) 0.2ppm 이하	1분간격 20초 on, 40초 off

<표 119> 용존 오존 농도 변화

구 분	측정 1	측정 2	오존 발생
9시	0.07	0.08	24H, 20분 발생, 10분 정지 작동기준
10시 30분	0.12	0.09	
11시	0.08	0.09	

3) 측정 방법

가) 측정 회수

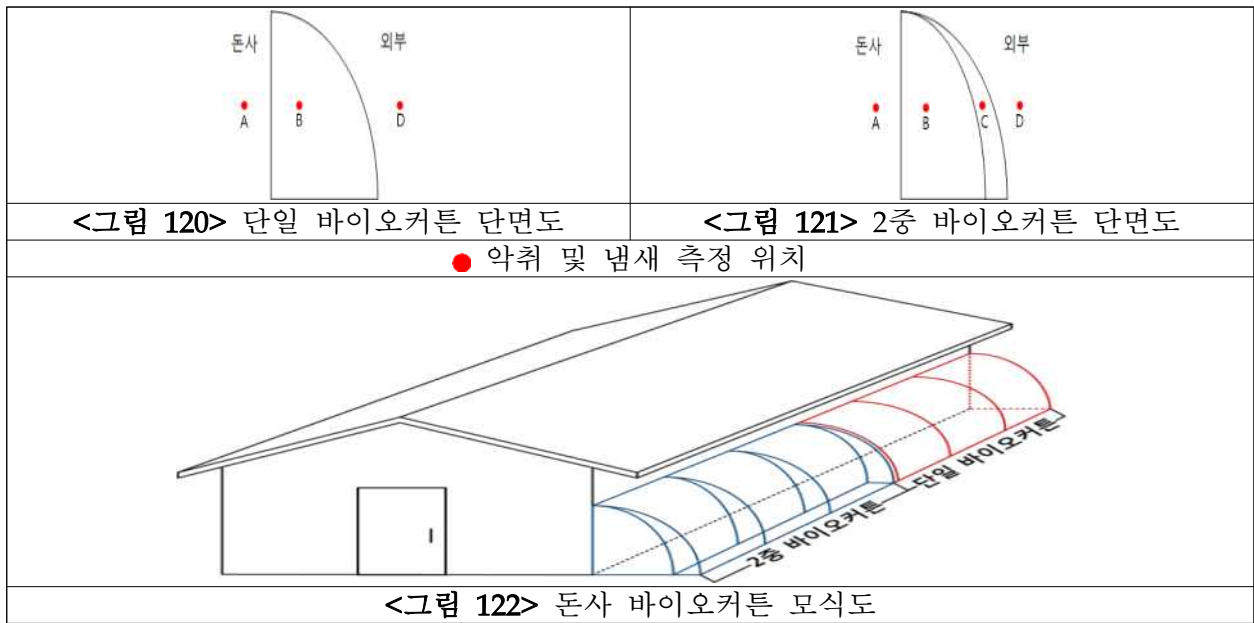
- 시험은 총 4회측정으로 설정하였으며 계절별 악취발생 특성을 알아보기 위하여 '17년 10월(가을), '18년 1월(겨울), 4월(봄), 7월(여름)으로 나누어 계절별 4주간(2회/주, 총8회) 측정을 계획하여 1차년도(2017) 10월(가을)에 1회 측정을 완료하였음.

나) 측정 위치

<표 120> 단일, 2중 바이오커튼 측정 위치

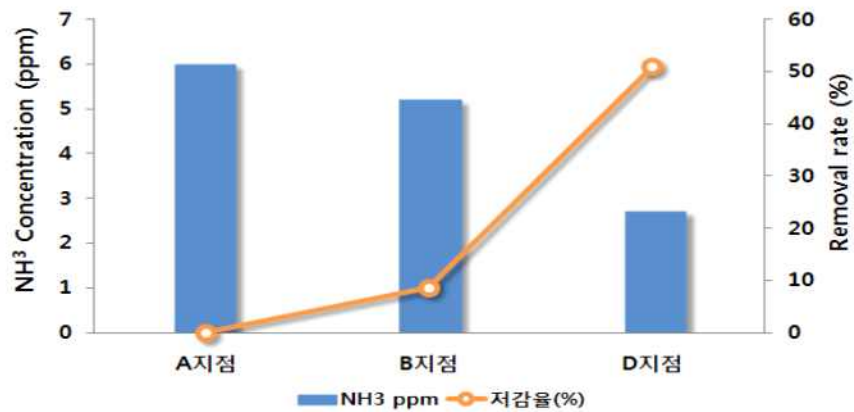
구 분	단일 바이오커튼	2중 바이오커튼
돈사 내부		○
돈사 외벽		○
1차 외부(1차 2차 사이)	X	○
커튼 외부	○	○

- 아래 그림의 악취 및 냄새 측정 위치와 같이 단일 바이오커튼의 경우 돈사 내부, 돈사 외벽과 커튼외부의 암모니아 및 아민류의 농도를 검지관과 가스텍을 이용하여 측정하였으며 2중 바이오커튼의 경우에는 돈사 내부, 돈사 외벽, 1차 커튼과 2차 커튼 사이, 커튼외부의 악취를 측정함.



4) 측정 결과

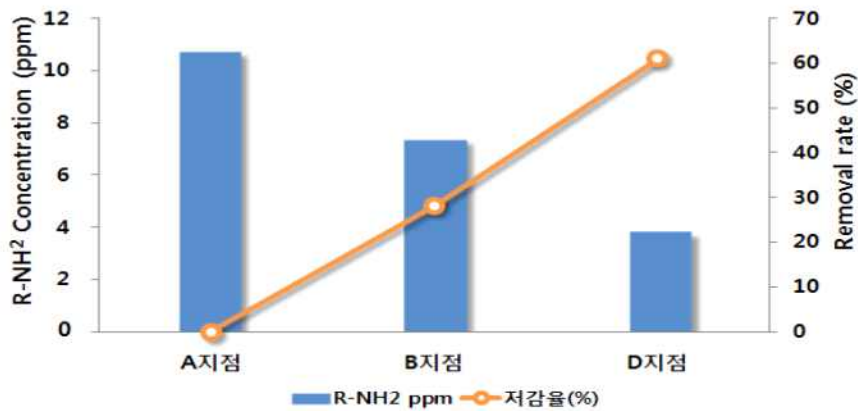
가) 단일바이오커튼 시험 결과



구분	NH ₃ (ppm)			저감율 (%)		저감도	
	A지점	B지점	D지점	B지점	D지점	B지점	D지점
단일	8	4	3	50%	62.50%	-4	-5
	7	4	2.4	43%	65.70%	-3	-4.6
바이오커튼	4	3.8	3	5%	25.00%	-0.2	-1
	6	5.4	2	10%	66.70%	-0.6	-4
시험	5	7	3	-40%	40.00%	2	-2
	6	7	3	-17%	50.00%	1	-3
평균	6	5.2	2.7	8.5	51.7	-0.8	-3.3

<그림 123> 단일바이오커튼 측정위치별 암모니아측정 결과

- 돈사외벽 단일바이오커튼을 설치하여 실험한 결과 시험 마지막 지점인 D지점(커튼외부)의 평균 저감율은 51.6%±16.6%로 악취유발 전달의 매개체인 분진의 양을 저감시켜 유출을 막아 악취를 저감시키는 단일필터 효과만으로는 돈사내부에서 발생하는 암모니아농도를 절반만 저감시킬 수 있음.
- B지점(돈사외벽)에서의 암모니아 측정 결과 A지점(돈사내부)에 비해 B지점에서 오존수분무의 화학적저감 방식을 사용하지 않았기 때문에 암모니아농도의 저감 효과가 없을 것으로 예상하였으나 암모니아발생량이 많은 내부에 비해 돈사외벽에서는 바이오커튼 안의 바깥공기와의 희석 및 외부확산으로 인해 측정 농도가 낮아진 것을 확인할 수 있었음.

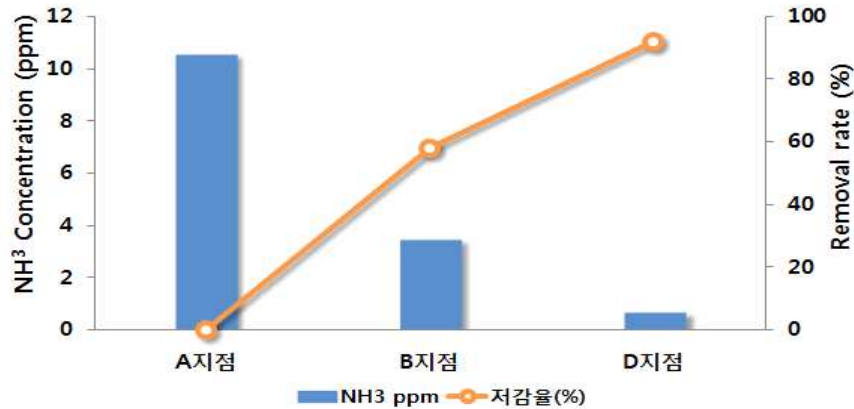


구분	R-NH ₃ (ppm)			저감율 (%)		저감도	
	A지점	B지점	D지점	B지점	D지점	B지점	D지점
단일	4.2	2.5	1	40%	76.2%	-1.7	-3.2
	3	0.2	0	93%	100.0%	-2.8	-3
바이오커튼	13	8	2	38%	84.6%	-5	-11
	22	15	7	32%	68.2%	-7	-15
시험	22	18	13	18%	40.9%	-4	-9
	22	18	13	18%	40.9%	-4	-9
평균	12.8	8.7	4.6	44.2%	74.0%	-4.1	-8.2

<그림 124> 단일바이오커튼 측정위치별 아민류측정 결과

- 단일바이오커튼의 R-NH₂ 측정 결과 D지점에서 73.9%±21.9%의 저감 효율을 보였으며 이는 <그림 124>의 단일바이오커튼 암모니아 측정결과와 동일하게 악취유발 전달의 매개체인 분진의 양을 저감시켜 유출을 막아 악취를 저감시키는 단일필터의 효과인 것으로 판단됨.
- B지점의 측정결과도 마찬가지로 돈사외벽으로 내부의 높은 농도의 암모니아가 환을 통해 나오며 외부로 확산되어 감소되어진 것으로 보임

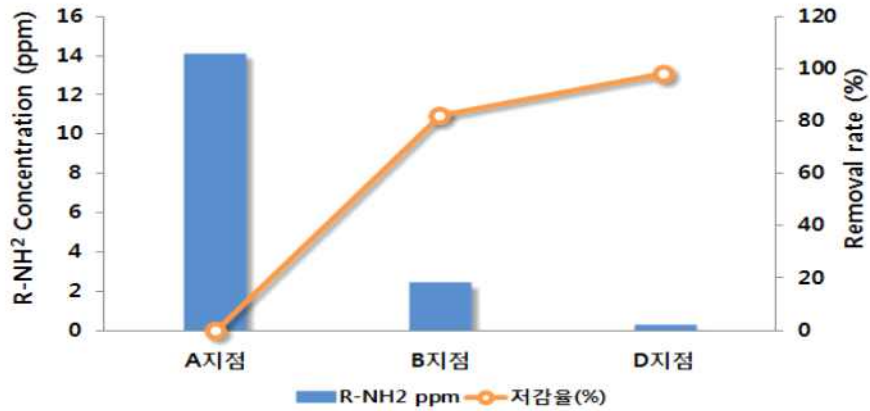
나) 단일바이오커튼 + 오존수 사용



구분	NH ₃ (ppm)			저감율 (%)		저감도	
	A지점	B지점	D지점	B지점	D지점	B지점	D지점
단일 바이오커튼 + 오존수	10	6	1	40%	90.00%	-4	-9
	8	3	0.2	63%	97.50%	-5	-7.8
	5	3	0.5	40%	90.00%	-2	-4.5
	7	1	0.2	86%	97.10%	-6	-6.8
	2	1	0	50%	100.00%	-1	-2
	24	1	0	96%	100.00%	-23	-24
	4	3	0.2	25%	95.00%	-1	-3.8
	5	0.5	0	90%	100.00%	-4.5	-5
	6	5	2	17%	66.70%	-1	-4
	21	0.1	0	100%	100.00%	-21	-21
평균	10.5	3.5	0.7	58.6%	92.6%	-7.0	-9.8

<그림 125> 단일바이오커튼+오존수 측정위치별 암모니아측정 결과

- 단일바이오커튼에 오존수를 이용한 화학적 저감 방식을 추가하여 암모니아 농도를 측정한 결과 단일바이오커튼만 사용하였을 때와 비교하여 D지점에서 평균 92.6%±10.1%로 41%높은 저감율을 보임.
- 화학적 저감 방식인 오존수사용으로 돈사에서 발생한 악취발생 물질인 암모니아를 산화시켜 알데히드(CHO), 이산화탄소(CO₂)등으로 분해시켜 B지점에서 측정결과 또한 단일바이오커튼만 사용한 시험과 비교하여 더욱 높은 저감율을 확인할 수 있었음.

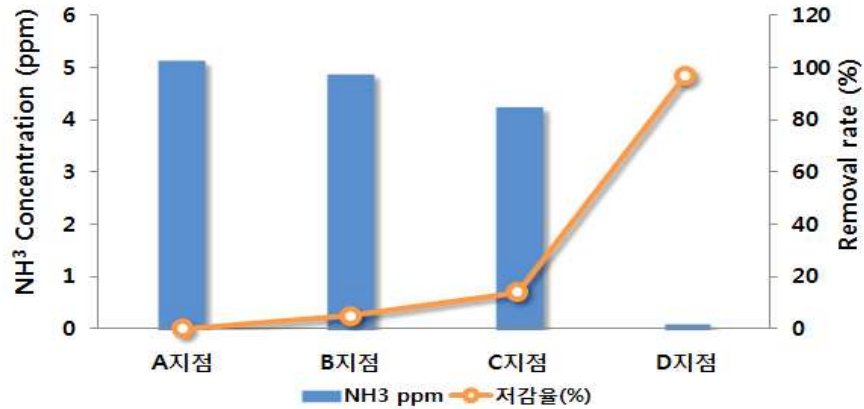


구분	R-NH2 (ppm)			저감율 (%)		저감도	
	A지점	B지점	D지점	B지점	D지점	B지점	D지점
단일 바이오커튼 + 오존수	19	10	0	47%	100.00%	-9	-19
	18	5	1.4	72%	92.20%	-13	-16.6
	13	8	2	38%	84.60%	-5	-11
	13	2	0	85%	100.00%	-11	-13
	0.5	0	0	100%	100.00%	-0.5	-0.5
	32	0	0	100%	100.00%	-32	-32
	24	0	0	100%	100.00%	-24	-24
	13	2	0	85%	100.00%	-11	-13
	4	1.5	0	63%	100.00%	-2.5	-4
	1	0	0	100%	100.00%	-1	-1
평균	15	0	0	100%	100.00%	-15	-15
	16	1	0	94%	100.00%	-15	-16
	14.0	2.5	0.3	82.0%	98.0%	-11.6	-13.8

<그림 126> 단일바이오커튼+오존수 측정위치별 아민류측정 결과

- 단일바이오커튼+오존수 사용시 B지점에서 아민류농도의 높은 저감율(82%±22.1%)을 보였으며 D지점에서는 98%±4.7%의 평균 제거율을 보이며 2일의 측정 결과를 제외한 다른 날의 측정 결과 모두 100%의 저감 효율을 보였음.
- 아민류의 경우는 오존수 사용만으로 높은 저감율을 보여 암모니아에 비해 아민류처리시 오존수의 사용이 중요하며 아민류에서 알데히드(CHO), 이산화탄소(CO₂)등으로 분해가 더욱 활발히 일어나는 것을 알 수 있었음.

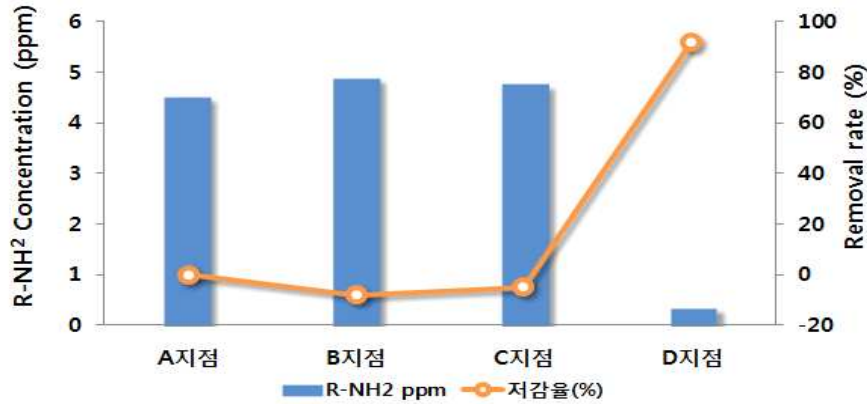
다) 2중바이오커튼 사용



구분	NH ₃ (ppm)				저감도			저감율 (%)		
	A지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점
2중 바이오커튼 시험	5	5	5	1	0	0	-4	0%	0%	80%
	5	5	5	0	0	0	-5	0%	0%	100%
	4	3	3	0	-1	-1	-4	25%	25%	100%
	5	4	4	0	-1	-1	-5	20%	20%	100%
	5	5	4	0	0	-1	-5	0%	20%	100%
	5	5	5	0	0	0	-5	0%	0%	100%
	4	4	4	0	0	0	-4	0%	0%	100%
평균	5.1	4.9	4.3	0.1	-0.3	-0.9	-5.0	5.6%	14.3%	97.5%

<그림 127> 2중 바이오커튼 측정위치별 암모니아측정 결과

- 2중 바이오커튼을 이용한 시험 결과 D지점의 암모니아 농도는 첫날 측정을 제외한 모든 측정일에서 0ppm을 보이며 100% 저감율의 결과를 얻어 25%~62%의 불안정한 저감율을 보인 단일 바이오커튼에 비해 안정적인 높은 암모니아제거 안정성을 보임.
- 2중 바이오커튼을 사용시 특이점으로 B와 C지점에서 낮은 저감율을 보일 뿐만 아니라 절반이상의 측정결과에서 저감율 0%를 보이며 효율을 알 수 없었는데 이는 돈사 환기팬을 통해 분진과 약취가스가 저류되는 B지점과 C지점에서 단일 커튼에 비해 돈사 배기가스의 외부 확산이 느려 커튼내부에 체류하는 시간이 증가되었기 때문이라고 판단됨.

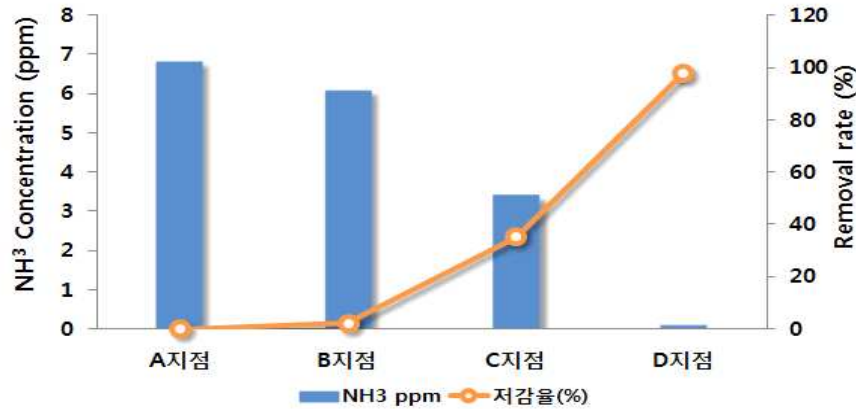


구분	R-NH2 (ppm)				저감도			저감율 (%)		
	A지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점
2중 바이오커 튼 시험	5	6	6	1	1	1	-4	-20%	-20%	80%
	4	5	5	1	1	1	-3	-25%	-25%	75%
	6	6	6	1	0	0	-5	0%	0%	83%
	5	5	5	0	0	0	-5	0%	0%	100%
	4	4	4	0	0	0	-4	0%	0%	100%
	4	4	3	0	0	-1	-4	0%	25%	100%
	4	4	4	0	0	0	-4	0%	0%	100%
평균	4.5	4.9	4.8	0.4	0.4	0.3	-4.1	-8.7%	-5.6%	92.2%

<그림 128> 2중 바이오커튼 측정위치별 아민류측정 결과

- 아민류의 경우 돈사내부 A지점에 비해 오히려 B, C지점의 아민류 농도가 높아지는 경향을 보였으나 D지점 커튼 외부에서 측정한 결과 92.2%±10.9%의 저감율을 나타내며 외부로 유출되는 아민류의 악취는 1ppm 이하로 일정한 경향을 보임.
- 단일 바이오커튼에서는 아민류 저감율 40%~84%까지 불안정한 효율을 보인 반면 2중 바이오커튼의 아민류 측정에서는 75%~100%의 높은 저감 효율을 보여 차광율 75% (그물코 2cm) 2점을 설치하였을 때 보다 차광율 75%(그물코 2cm) 4점을 설치하고 추가적으로 차광율 95%(그물코 1cm) 2점을 설치하였을 때 커튼내부에서 외부로 확산되는 악취가 적은 것을 확인함.

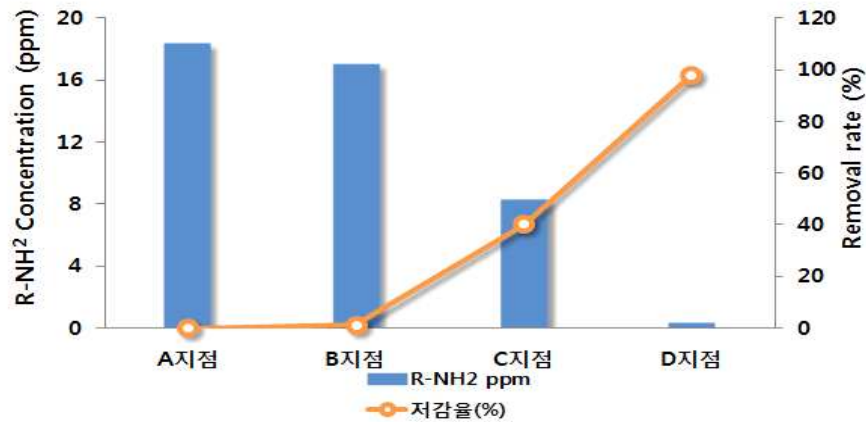
라) 2중바이오커튼 + 오존수 사용



구분	NH ₃ (ppm)				저감도			저감율 (%)		
	A지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점
2중 바이오커 튼 + 오존수	5	4	2	0	-1	-3	-5	20%	60%	100%
	5	4	4	0	-1	-1	-5	20%	20%	100%
	5	6	3	0	1	-2	-5	-20%	40%	100%
	5	5	2	0	0	-3	-5	0%	60%	100%
	9	6	3	0	-3	-6	-9	33%	67%	100%
	8	7	1	0	-1	-7	-8	13%	88%	100%
	15	10	1	0	-5	-14	-15	33%	93%	100%
	11	10	5	0	-1	-6	-11	9%	55%	100%
평균	18	15	2	0	-3	-16	-18	17%	89%	100%
	16	10	5	0	-6	-11	-16	38%	69%	100%
평균	6.8	6.1	3.4	0.1	-0.7	-3.4	-6.7	2.0%	35%	98%

<그림 129> 2중 바이오커튼+오존수 측정위치별 암모니아측정 결과

- 2중 바이오커튼과 오존수를 함께 사용한 시험결과 D지점인 커튼외부로 확산되는 악취는 0ppm으로 모든 측정일에서 동일한 결과가 나타났으며 2중 바이오커튼만 사용한 <그림 129>의 시험결과와 달리 B지점과 C지점의 저감율이 점차 높아지는 것으로 보아 커튼 외부로 배기가스의 확산이 느림에도 불구하고 오존수에 의해 산화되어 B지점에서 저감이 나타났으며 1차 바이오커튼을 거쳐 C지점에서 좀 더 높은 저감율을 확인함.



구분	R-NH2 (ppm)				저감도			저감율 (%)		
	A지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점	B지점	C지점	D지점
2중 바이오커 튼 + 오존수	9	10	10	1	1	1	-8	-11%	-11%	89%
	10	10	10	0	0	0	-10	0%	0%	100%
	12	10	10	0	-2	-2	-12	17%	17%	100%
	11	10	8	0	-1	-3	-11	9%	27%	100%
	9	9	8	0	0	-1	-9	0%	11%	100%
	10	10	5	0	0	-5	-10	0%	50%	100%
	10	15	5	0	5	-5	-10	-50%	50%	100%
	20	15	10	4	-5	-10	-16	25%	50%	80%
40	30	3	0	-10	-37	-40	25%	93%	100%	
50	45	10	0	-5	-40	-50	10%	80%	100%	
평균	18.3	17.0	8.3	0.4	-1.3	-10	-18	1.4%	40%	98%

<그림 130> 2중 바이오커튼+오존수 측정위치별 아민류측정 결과

- 2중 바이오커튼과 오존수 사용 아민류 측정 결과의 경우 단일바이오커튼에 비해 D지점 아민류 저감율이 96.9±6.9%로 높게 나타났으며 B지점에서 평균 2.5%의 저감율을 보이며 오존수에 의한 영향이 미미한 것으로 나타났으며 C지점에서 36.7%의 효율을 보이며 필터에 의한 저감을 확인 함.

마. 악취저감 효능 평가

1) 안개분무시설 사용약품별 악취저감 효능 평가

- 양돈농가에서 돈사내부 악취저감 방법으로 안개분무시설을 많이 이용 중에 있으며 각 농가별 안개분무용 사용 약품은 천연물질, 탈취제, 미생물제제 등 다양한 제품뿐만 아니라 약품첨가 없이 물을 분무하는 농가도 있음

<목초액>

- 목초액은 숯 제염 과정에서 목재 열분해시 발생하는 증기를 응축하여 만든 천연 추출물로서 화학약품제제와는 달리 인체에 유해하지 않고 토양살균 및 비료 등 다양한 용도로 널리 사용되고 있음(김 등, 1999)
- 목초액은 pH 2~3의 산성액으로 그 화학적 성상을 고려한다면, 암모니아, 아민류 등 염기성 악취물질과의 중화 반응에 의한 세정 탈취효과를 고려할 수 있어 암모니아가 주요 악취원인물질로 발생하는 축산농가 뿐만 아니라 분뇨처리장 등의 환경기초시설에서도 탈취액으로 충분히 사용 할 수 있음
- 목초액은 방향성물질로 악취를 덮는 마스킹제와는 달리 악취물질을 화학적 반응으로 중화시켜 탈취력 지속성과 암모니아 제거효율이 높음

<미생물제제>

- 미생물을 이용하여 공기 중의 악취물질을 인위적으로 제어할 수 있음, 이는 미생물에 의한 생물화학적 산화분해에 의해 일어나는 탈취현상을 이용함
- 미생물이 직접적으로 악취물질을 산화시키거나 악취물질의 전구체를 미생물의 먹이체로 이용해버림으로서 악취물질의 저감에 활용됨
- 암모니아의 경우는 물질상의 변화나 미생물의 직접적인 작용으로 제거될 수 있으며 나이트로소모나스 균과같은 특정 미생물에 의해 암모니아가 NO₂, 에너지, 산으로 산화작용하여 암모니아가 제거됨

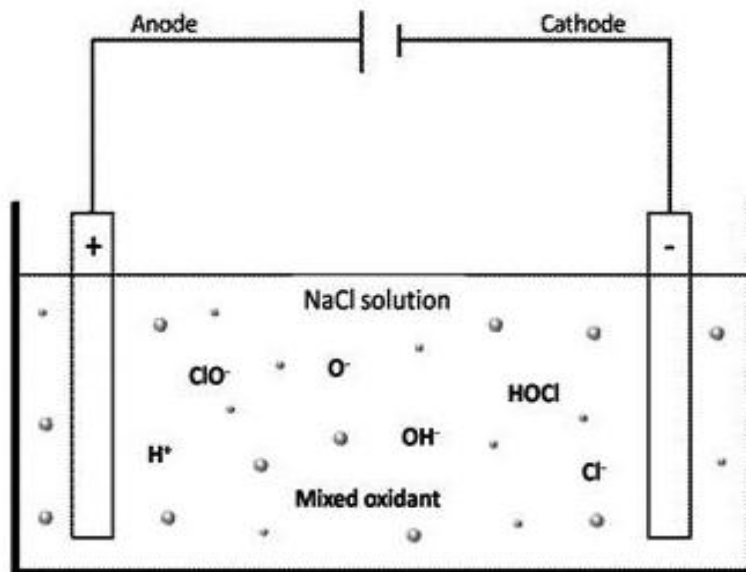
<탈취제>

- 탈취제는 원리 및 작용에 따라 네 가지로 나눌 수 있음, 첫째 화학적 탈취는 화학적 반응작용(산제, 알칼리제, 산화제)원리를 이용, 둘째 물리화학적 탈취는 약제 첨가 흡착 작용 원리 이용, 셋째 물리 흡착 탈취는 활성탄, 실리카겔 등으로 흡착 작용과 흡수작용 이용, 넷째 생물적 탈취는 효소작용에 의한 원리로 분류할 수 있음

- 시험에 사용된 약품은 2차 오염이 없고 분해성이 뛰어나며 악취와 결합된 화학물은 다른 미생물에 의해 다시 분해되지 않고 불활성화 되는 특징이 있음, 또한 냄새를 숨기는 마스크 방법이 아닌 강한 산화력으로 악취물질을 산화시키는 화학적 방법으로 악취와 분자단위로 결합되어 악취를 제거함

<차아염소산>

- 차아염소산 생성기를 이용해 양돈농가에서도 쉽게 차아염소산을 생성할 수 있으며 그 원리는 0.9%의 소금을 사용하여 전류 1.5Am로 전기분해하면 양극면에서 $2HCl \rightarrow H_2 + Cl_2$ 로 반응하고 생성된 Cl_2 는 H_2O 와 반응하여 $HOCl$ 과 HCl 이 생성되며 pH 6-6.5, 유효염소농도 5-10ppm의 미산성 저농도 차아염소산수를 생성함
- 차아염소산은 각종 병원균에 강력한 살균효과가 있어 구제역, 아프리카 열병의 소독제로 지정되었을 뿐만 아니라 노 등(2012)의 실험에 의하면 차아염소산을 이용하여 충전탑에서 하수슬러지 배출가스 악취 및 복합악취를 제어하였음



<그림 131> 차아염소산생성 원리

가) 재료 및 방법

- 안개분무에 따른 악취저감 효능 평가를 위해 안개분무시설이 설치되어 있고 천연물질(목초액)을 이용하여 안개분무를 실시하고 있는 경기도 연천소재 양돈농가를 시험 장소로 선정하였음
- 악취가 가장 높은 비육돈방에 제1협동기관에서 개발한 악취측정센서(OMS-100)와 온습도센서를 설치하여 암모니아, 황화수소, 온도, 습도를 실시간 측정함



<그림 132>



<그림 133>



<그림 134>



<그림 135>

<표 121> 악취 및 온습도 측정기기

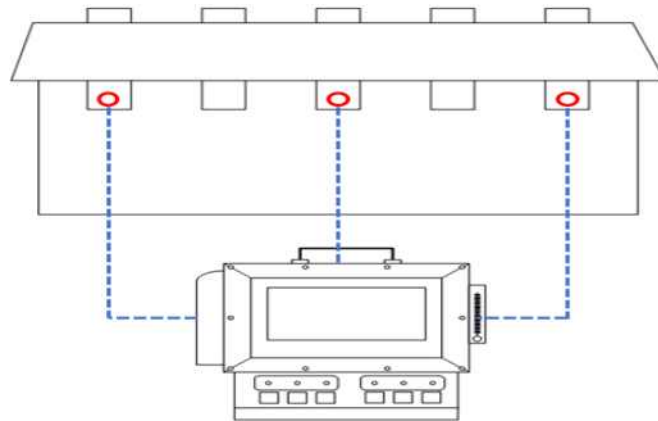
구 분	품명	측정항목
악취측정기	악취측정센서(OMS-100)	NH ₃ , H ₂ S 측정
온습도측정기	온습도센서(Testo-H1)	온도, 습도

- 시험에 사용된 안개분무용 제품 선정은 시험농가에서 사용중인 천연물질(목초액)과 '16 대한한돈협회에서 우수 악취저감 제품으로 선정된 안개분무용 미생물제제, 탈취제를 선정하였으며 추가적으로 여러 악취저감 사례와 아프리카열병 소독제로 등록되어 악취저감과 소독에 우수한 효능이 검증된 차아염소산을 선정하였음
- 각 제품은 해당 업체의 권장 사용농도에 따라 아래 표와 같이 희석 농도를 정하여 사용하며 4회/일 안개분무 실시함(06:00, 11:00, 14:00, 17:00)

<표 122> 약취 및 온습도 측정기기

구 분	제품별 사용 농도
천연물질(목초액)	200:1 희석 사용
미생물제제	200:1 희석 사용
탈취제	400:1 희석 사용
차아염소산	100배 희석 사용

○ 시험농장의 비육돈사는 천장배기 형태로 설비되어 있어 5개의 천장 배기팬 중 아래 그림과 같이 3곳의 배기팬을 측정 위치로 선정하였음



<그림 136> 약취측정 지점(3개)

나) 안개분무 약품별 약취저감 1차 시험 결과

○ 천연물질(목초액)이용 안개분무 약취저감 결과

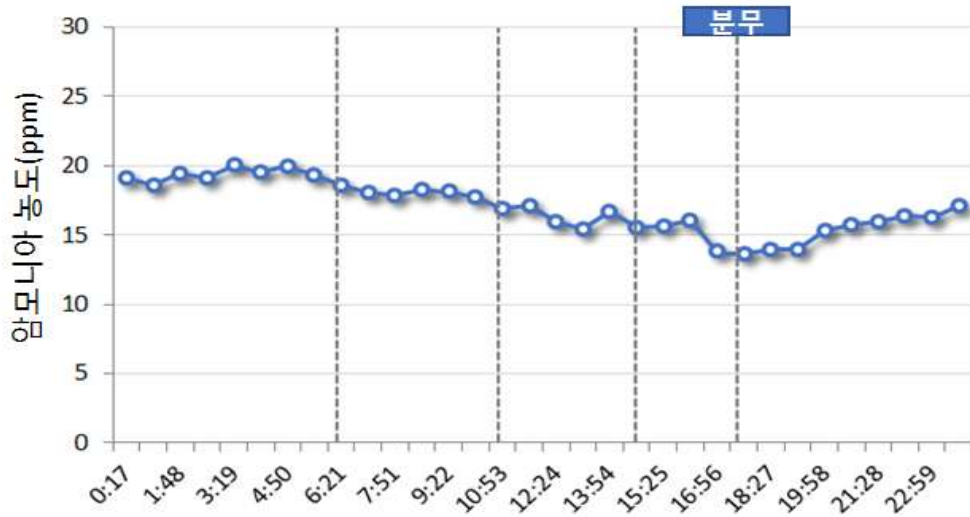
- 분무 전 돈사내부 암모니아 농도는 20.31ppm으로 측정되었으며 4번째 안개분무 직후 암모니아 농도는 15.81ppm으로 4.5ppm(22.15%)감소하였음



<그림 137> 안개분무시 암모니아 실시간 측정 결과(목초액)

○ 미생물제제를 이용 안개분무 약취저감 결과

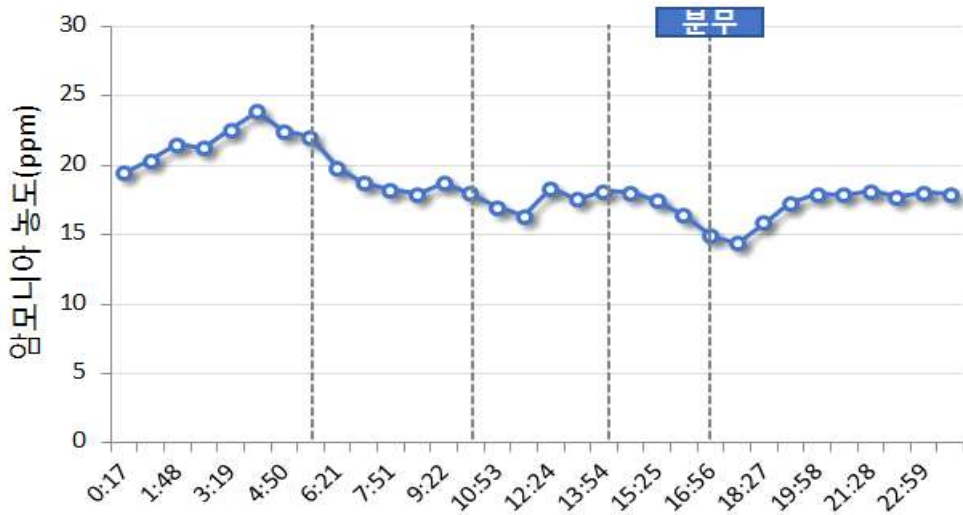
- 분무 전 돈사내부 암모니아 농도는 18.58ppm으로 측정되었으며 4번째 안개분무 직후 암모니아 농도는 13.66ppm으로 4.92ppm(26.48%)감소하였음



<그림 138> 안개분무시 암모니아 실시간 측정 결과(미생물제제)

○ 탈취제를 이용한 안개분무 시험 결과

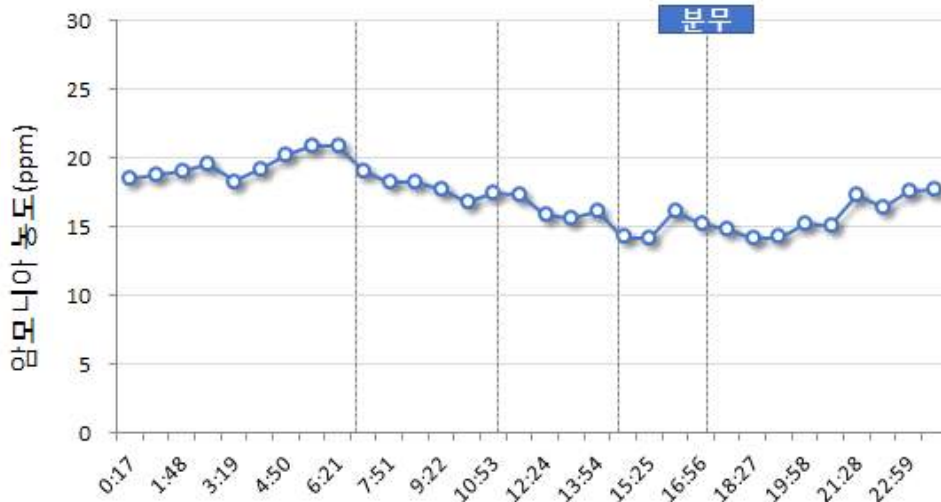
- 분무 전 돈사내부 암모니아 농도는 19.71ppm으로 측정되었으며 4번째 안개분무 직후 암모니아 농도는 14.24ppm으로 4.92ppm(27.75%)감소하였음



<그림 139> 안개분무시 암모니아 실시간 측정 결과(탈취제)

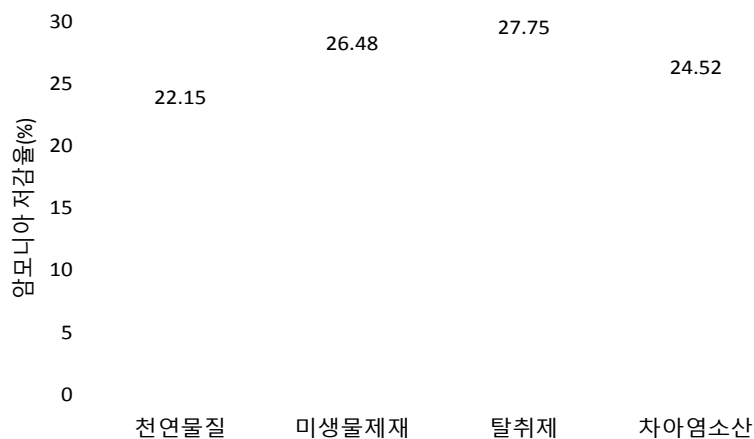
○ 차아염소산을 이용한 안개분무 시험 결과

- 분무 전 돈사내부 암모니아 농도는 20.92ppm으로 측정되었으며 4번째 안개분무 직후 암모니아 농도는 14.87ppm으로 5.13ppm(24.52%)감소하였음



<그림 140> 안개분무시 암모니아 실시간 측정 결과(차아염소산)

- 약품별 안개분무시험을 통한 악취저감 효능평가를 실시한 결과 약품별 암모니아 저감율에 차이가 있었음
- 탈취제가 27.75%로 저감율이 가장 높았고 미생물제제(26.48%), 차아염소산(24.52%), 천연물질(22.15%)순을 높았음
- 20ppm수준의 돈사 내부 암모니아 농도가 4번의 안개분무 후 15ppm으로 낮은 수준으로 유지가 가능하나, 안개분무의 암모니아 저감율은 22~28%로 낮아 배기환을 통해 외부로 배출되어 인근 주민 악취민원 등의 문제를 방지하기 위해서는 돈사 외부 악취저감시설과 함께 고려되어야 할 것으로 판단됨



<그림 141> 안개분무 제품별 암모니아 제거율

바. 사육밀도에 따른 악취발생 평가

- '13년도 국립축산과학원에서 돼지 생산성 향상을 위한 성장단계별 적정 사육면적을 밝히기 위해 현장실증시험을 실시하였음, 시험 결과 육성돈에서 1두당 적정한 사육면적은 0.91m²로 밀사인 0.65m²에 비해 혈중 면역단백질인 IgG의 함량이 약 35% 증가하였으며, 스트레스 수준은 약 4% 감소하는 것으로 나타났으며 일당증체량이 17% 높았고, 사료요구율은 11% 개선되었음

<표 123> 사육밀도가 비육돈의 생산성에 미치는 영향

구 분	0.91m ²	0.80m ²	0.72m ²	0.65m ²
일당증체량(g)	862	844	803	737
사료요구율	3.74	3.77	3.88	4.19
IgG(ng/ml)	263.8	238.2	214.0	195.7

- 이는 저밀도 사육에 의한 돈사 내부 악취 감소 영향도 있을 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 냄새 저감 효과를 보임 <표 124>

<표 124> 비육돈사의 사육밀도 조절에 의한 돈사 내 냄새물질 농도변화

구 분	사육밀도(m ² /두)		
	0.8	1.0	1.2
트리메틸아민	29.3	19.5	17.4
이성체지방산류	19.3	22.0	20.5
황화합물류	1031.2	611.2	684.1
인돌류	1.4	1.1	1.2

1) 재료 및 방법

- 돈사에서 고농도로 발생되는 주요 악취물질인 NH₃과 슬러리 이상발효 시 발생하는 H₂S에 대한 발생농도의 변화를 시험돈사의 평균 사육두수 144두에 각 -10%, +10%로 사육두수의 변화를 두어 사육밀도 변화에 따른 돈사 내 악취물질의 발생을 관찰하고자 시험을 진행함
- 농장 기존 육성돈 사육밀도 0.52m²/두 기준 0.45m²/두(+16%), 0.62m²/두(-16)비육돈 사육밀도 기준으로는 각각 0.83m²/두, 0.71m²/두(+16%), 1.39m²/두(-16%)로 설정하여 시험하였고, 시험돈사 면적은 다음과 같음

<표 125> 비육돈사의 사육밀도 조절에 의한 돈사 내 냄새물질 농도변화

구 분	육성사	비육사
돈사 면적	(L) 12.7m × (W) 7m	(L) 15m × (W) 9m
사육칸(12칸)	(L) 2.1m × (W) 3m	(L) 2.5m × (W) 4m
사육면적	75.6m ²	120m ²

- 시험전 시험돈사의 슬러리 피트 내 분뇨는 모두 배출하였으며 가스 측정은 가스 적체구간인 육성/비육돈사 배기 굴뚝에서 측정하였음
- 악취측정 항목으로는 암모니아와 황화수소를 측정하였으며 디지털 온습도계를 이용하여 측정 당일 돈사 온도 및 습도를 동시에 측정하였음

<표 126> 악취 및 온습도 측정기기

구 분	품명	측정항목
악취측정기	Gastec 검지관	NH ₃ 측정
온습도측정기	디지털 온습도계 J-303c	온도, 습도

2) 시험 결과

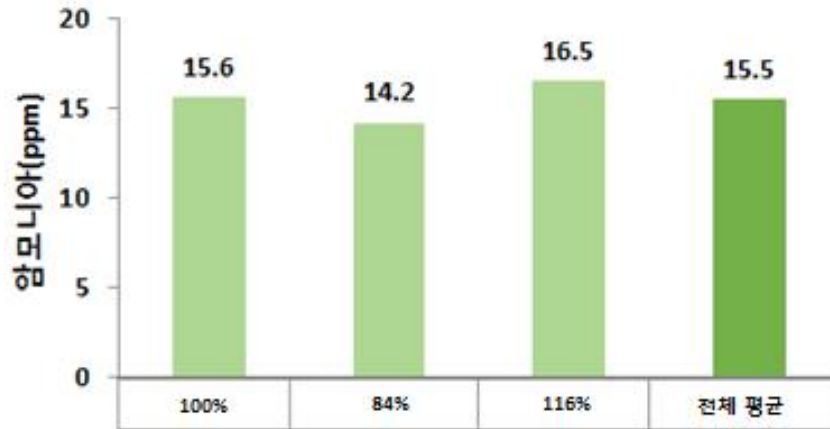
- 144두 사육밀도 기준으로 -16%(121두)사육, +16%(167두)사육 돈방 별 악취농도는 크게 차이를 보이지 않았지만 사육밀도를 낮게 한 -16% 처리구에서 전체평균보다 낮은 결과를 보였으며 사육밀도를 높게 한 +16% 처리구에서는 전체평균보다 높은 결과를 보임
- 16% 처리구에서는 144두 기준대비 암모니아 농도가 8.9% 감소하였으며 +16% 처리구에서는 기준대비 5.7% 증가하였음
- 사육밀도에 따른 악취 발생은 사육밀도 별 악취농도의 차이는 보였으나 사육밀도 ±16% 수준에서는 미미한 것으로 판단됨



<그림 141> -16% 사육두수

<그림 142> 기준사육두수

<그림 143> +16% 사육두수



<그림 144> 사육밀도별 돈사 내 암모니아 농도

사. 사료내 단백질 감소에 따른 악취 저감 평가

- 국내 농가에서는 돼지의 성장을 최대화하기 위해 육성돈 사료를 비육돈에 급여하여 필요 단백질 요구량보다 많이 급여하게 되면, 체내에 축적되지 못한 단백질이 분뇨를 통해 배출되어 냄새 및 환경오염의 원인으로 이어지고 있음
- 권장수준의 조단백질 함량은 비육전기(50~80kg) 16%, 비육후기(80~120kg) 14% 이며 관행수준의 조단백질 함량은 비육전기(50~80kg) 19%, 비육후기(80~120kg) 17%로 권장수준보다 높게 급여하고 있음
- 국립축산과학원(2012) 연구결과에 의하면 비육돈 사료 내 단백질함량을 증가시켜도 성장률이 크게 개선되지 않고 분뇨 내 악취물질의 농도만 증가 한다고 하였음

<표 127> 사료의 단백질 수준별 돼지 생산성 분석

처리구	단백질 수준(%)	
	사료 내 단백질함량(17%)	사료 내 단백질함량(20%)
일단증체량(g)	758	789
사료섭취량(g)	1,808	1,762
사료효율	0.42	0.45

자료: 국립축산과학원, 2012

- 사료 내 단백질수준을 관행 20%에서 권장(17%)수준으로 조절하여 급여하게 되면 육성돈 분뇨 내 악취물질의 농도가 감소함
 - 페놀류 27.47mg/L → 23.67mg/L 23.6% 저감
 - 인돌류 4.13mg/L → 2.66mg/L 35.6% 저감
 - 이성체지방산 280mg/L → 154mg/L 45.0% 저감

<표 128> 육성돈사료의 단백질 수준별 슬러리 악취물질 농도 비교

구 분	단백질 수준		
	저단백 15%	권장 17.5%	관행 20%
페놀류(mg/L)	23.74(13.5)	23.67(23.6)	27.47
인돌류(mg/L)	2.69(34.8)	2.66(35.6)	4.13
이성체지방산(mg/L)	129(53.9)	154(45.0)	280

* () : 관행 대비 저감률

자료: 국립축산과학원, 2013

- 사료내 단백질수준 감소 시 암모니아 저감 효과를 확인하기 위해 국내·외 문헌조사를 통해 확인함
- 문헌 저자에 따라 실험 조건에는 차이가 있었으나 단백질수준을 감소시킴에 따라 13~52%의 암모니아를 저감할 수 있는 것으로 보고됨
- 사료 내 단백질수준 감소에 따라 암모니아 13 ~ 52% 저감

<표 129> 사료 내 단백질 수준 감소에 따른 암모니아 저감율

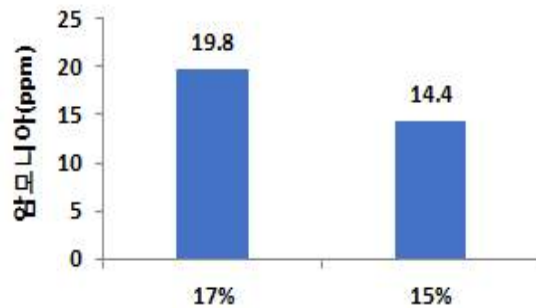
References	Diet CP Content Reduced		Reduction in Emissions NH ₃ (%)
	From(%)	To(%)	
Hernandez et al., 2011	16.0	14.0	13
Le et al., 2009	15.0	12.0	29
Cho et al., 2008	19.5	16.0	26
Powers et al., 2007	22.1	18.8	22
	18.8	17.2	33
Le et al., 2007b, 2008	18.0	15.0	47
	15.0	12.0	11
Panetta et al., 2006	17.4	17.0	12
	17.0	14.5	51
Philippe et al., 2006	17.8	14.7	26
Velthof et al., 2005	18.0	14.2	52
Portejoie et al., 2004	20.0	16.0	20
	16.0	12.0	18
Otto et al., 2003	15.0	12.0	50
Kendall et al., 1998	16.7	12.2	41
Kay and Lee, 1997	20.0	13.0	47
Obrock et al. 1997	13.0	9.0	29

1) 재료 및 방법

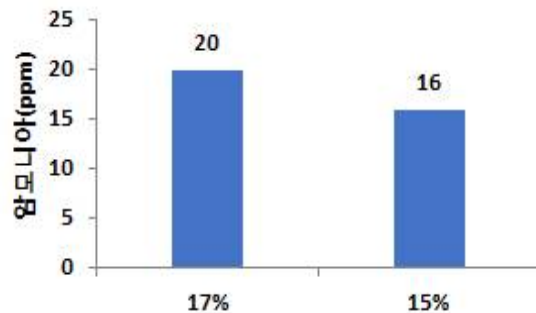
- 사육면적에 따른 약취 발생 평가를 진행과 함께 육성돈에서 비육돈으로 넘어가는 시기 사료변화(단백질함량 17%→15%) 전후 암모니아 농도를 비교함
- 3개의 돈방에서 사료 내 단백질함량 감소에 따른 약취저감 측정을 진행하였으며 가스측정은 Gastec 검지관을 이용 NH₃를 측정함

2) 시험 결과

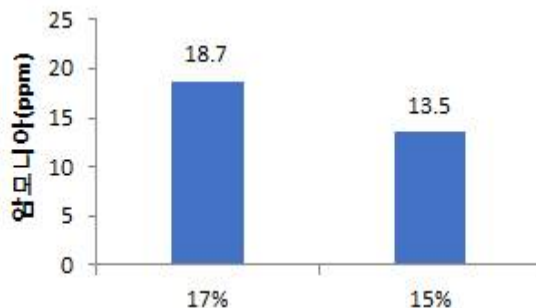
- 사료 내 단백질 함량을 감소시킬 경우 3개의 돈방에서 모두 암모니아 감소 효과가 있었음
- A돈방에서는 돈방 내 암모니아 농도가 19.8ppm에서 14.4ppm으로 감소하여 27.2%의 암모니아 저감 효율이 있었으며 B돈방에서는 20ppm에서 16ppm으로 20.0%, C돈방에서는 18.7ppm에서 13.5ppm으로 27.8% 저감됨



<그림 145> 사료 내 단백질함량에 따른 암모니아 농도



<그림 146> 사료 내 단백질함량에 따른 암모니아 농도



<그림 147> 사료 내 단백질함량에 따른 암모니아 농도

아. 악취저감을 위한 악취관리기준안 개발

1) 농가 악취조사표 마련

- 악취관리기준안 배점표를 제작하기 위해 우선적으로 악취관리기준안 항목별 가중치 설정 필요
- 이를 위해 광역악취개선사업 대상농가 중 ICT 기계·장비 설치 사업을 통해 현재 악취성적을 파악할 수 있는 농가들을 대상으로 악취실태조사를 위한 악취조사표를 마련하였음

<농가 악취조사표>

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? _____	

II. 분뇨처리시설	
1. 분뇨처리방법	<input type="checkbox"/> 퇴비화 <input type="checkbox"/> 액비화 <input type="checkbox"/> 정화 <input type="checkbox"/> 위탁
2. 고액분리기 밀폐여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
3. 액비화시설 밀폐여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
4. 퇴비화시설 밀폐여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
5. 분뇨발생량 대비 액비저장조 용량	<input type="checkbox"/> 여유 <input type="checkbox"/> 적정 <input type="checkbox"/> 부족
	5-1. 액비저장조 용량 : 총 _____ 톤
	5-2. _____
6. 액비조 운영방식	<input type="checkbox"/> 단순저장 <input type="checkbox"/> 교반운전 <input type="checkbox"/> 폭기운전
7. 액비 저장기간	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8. 퇴비 적체기간	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9. 퇴비화시설 탈취시설 설치 여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
10. 분뇨 퇴비화 상태	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11. 퇴비 교반 중 이산화염소 분무 여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
12. 액비화시설 탈취시설 설치 여부	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
13. 위생해충 구제 여부(파리, 모기, 구더기 등)	<input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 양호 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡

II. 기타 환경 관리	
1. 분뇨처리시설 및 돈사 주변 방취림 조성	<input type="checkbox"/> 예 <input type="checkbox"/> 아니오
2. 폐사축처리 방법	<input type="checkbox"/> 자체처리 <input type="checkbox"/> 렌더링 처리
	2-1. 자체처리 방법
	<input type="checkbox"/> 종량제 봉투 이용(1일 300kg 이하)
	<input type="checkbox"/> 퇴비장 사체 방치
3. 인근 민가 악취 민원 발생	<input type="checkbox"/> 상시발생(매우 심각) <input type="checkbox"/> 가끔 발생 <input type="checkbox"/> 미발생
4. 주변농가 및 주요시설 거리	<input type="checkbox"/> m미만 <input type="checkbox"/> m이상

2) 농가 악취조사표 배점화

- 광역악취개선사업 대상 농가들의 악취관리 실태를 조사하고 이를 주관기관(축산환경관리원)으로부터 받은 농가별 악취농도와 비교함
- 농가 악취조사표 설문 문항 별 농가 악취성과 비교하여 악취에 영향을 미치는 요인을 파악하고 농가에서 악취관리를 하는데 있어 중요하고 우선시되어야 하는 항목들의 가중치를 파악 할 예정임
- 농장 악취성과 비교를 통해 설문문항 별 가중치 파악하고 이를 이용하여 악취조사표 설문 문항을 배점화 시키는 작업을 함으로써, 각 문항 배점에 대한 근거를 마련하고, 현장조사를 통한 객관적인 배점표 마련을 할 수 있음



자. 악취저감 시설 및 관리 효능평가

1) 연구조사 방법

- 양돈농가에서 돈사외부 악취저감시설로 활용되고 있는 바이오필터에 대한 악취저감 효능 평가를 실시하였고, 액상사료 급이시 돈사내 악취저감 효과를 평가하였으며, 슬러리피트 돈사에서 슬러리를 신속하게 처리했을 때 돈사내 악취저감 효과에 대해 평가하였음.

<바이오필터 악취저감 효능시험>

- 바이오필터에 대한 악취저감 효능시험은 충남 논산소재 모돈 120두 규모 양돈농장의 비육돈사를 시험장소로 선정하여 시험을 진행하였고, 돈사내부 측벽 배기훤과 돈사외부에 설치된 바이오필터 배출구의 악취농도(NH_3 , H_2S)를 측정하였으며, 악취측정에는 전자식 가스분석기(SKT100-X5)를 이용하였음.
- 바이오필터의 세정액으로 이용되는 악취저감제제의 종류(미생물제, 차아염소산나트륨, 과산화물)에 따른 악취저감 효과에 대해서는 시험을 진행하였음. 악취측정 시기는 여름철(5월)로 2일에 걸쳐 3시간 간격으로 진행하였으며, 총 6회 측정하였음.

<액상사료 급이에 따른 악취저감 효능시험>

- 액상사료 급이에 따른 악취저감 효과시험은 전남 보성소재 모돈 1,000두 규모 양돈농장의 자돈사를 시험장소로 선정하여 시험을 진행하였음. 건식사료를 급이하는 자돈사의 악취농도(NH_3 , H_2S)를 측정하고, 액상사료 급이기가 설치되어 있는 자돈사의 악취농도를 측정하여 결과를 비교하였음. 악취측정에는 전자식 가스분석기(SKT100-X5)와 가스텍GV100S(Gastec, Korea)를 이용하였고, 악취측정 시기는 여름철(9월)로 2일에 걸쳐 1시간 간격으로 진행하였으며, 총 12회 측정하였음.
- 액상급이시설, 악취발생농도, 생산성과의 상관성을 분석하기 위해 액상사료 급이시 일당증체량과 비육돈 출하일령을 조사하였음.

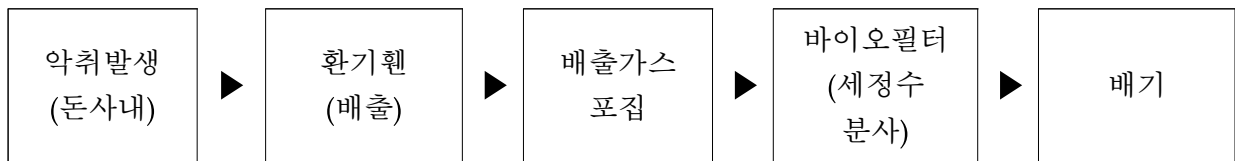
<슬러리 신속제거에 따른 악취저감 효능시험>

- 돈분뇨 슬러리 신속제거에 따른 악취저감 효과시험은 연암대학교 양돈 실습농장 비육돈사에서 시험을 진행하였음. 시험기간은 비육돈 입식이후부터 출하시까지 70일에 걸쳐 진행하였고, 비육기간 동안 슬러리를 제거하지 않는 돈방과 비육기간 동안 3주마다 슬러리를 제거하는 돈방을 시험구로 두었으며, 3일 간격으로 악취농도(NH_3 , H_2S 및 온습도 등 돈사환경 요인 변화를 측정 및 기록하였음.
- 악취측정에는 가스텍GV100S를 이용하였고, 악취측정 시기는 가을철(9~11월)로 3일 간격으로 악취를 측정하였음.

<악취저감 시설 개요>

1. 바이오필터(BIO FILTER)

- 바이오필터는 가스 속의 오염물질을 생물학적으로 처리하는 방법 중의 하나로서, 미생물을 토양, 이탄재, 고분자폼 및 세라믹 다공체 등의 다양한 미생물고정화용 담체에 부착 및 생육시켜 미생물의 대사활동에 의해 오염물질이 물, 이산화탄소 그리고 무해한 염으로 분해되는 환경 친화적이고 경제적인 처리공법으로 1957년 Pomeroy에 의해 기본적 처리개념이 개발되었음. 그 후, 1970년대 들어 네덜란드와 독일을 중심으로 오염가스가 자연환경에 가까운 시스템 내에서 처리되도록 한 개방형 바이오 필터로 발전하게 되었고, 1980년대 이후 북유럽에서 지금처럼 미생물을 고정화한 미생물고정화 담체를 충전한 충전탑내의 미생물의 성장조건을 인위적으로 조절할 수 있는 폐쇄형 바이오필터 시스템으로 발전되었음. 최근 바이오필터시스템을 미생물, 유체의 흐름 등을 고려하여 바이오필터(biofilter), 바이오트리클링필터(biotrickling filter), 바이오스크러버(bioscrubber) 등으로 분류하기도 하나 국내 외적으로 바이오필터시스템을 상업화한 회사들은 대부분이 이들 개념을 복합하여 사용함으로써 이를 분류하는 것은 큰 의미가 없어지고 있음. 현재 선진국에서는 바이오필터시스템이 악취 및 VOCs 처리기술 중 BACT(best available control technology)로 인정받고 있으며, 국내에서도 하수처리장, 퇴비화 시설 등을 시작으로 페인트 제조공장, 음식물쓰레기 처리시설, 석유화학제품의 원재료 저장시설 등으로 적용이 확대되어 가고 있음(허노준. 2003).
- 본 시험에서 사용한 바이오필터는 공기 중의 각종 오염물질을 미생물의 생물학적 처리공법을 통해 무해한 물질로 분해 및 제거하는 장치임. 화학물질의 사용으로 인한 간접적인 오염을 유발하는 탈취설비의 단점을 보완한 환경친화적 시스템이며, 바이오필터 전단부에 설치되어 유입되는 공기의 오염물질을 세정·흡수하는 장치임.
- 축사에서 배출된 분진 및 배출가스를 포집하여 장치 내부(바이오필터)에서 분사되는 세정수와 필터를 통해 분진 및 악취를 제거하여 깨끗한 공기를 배출함.



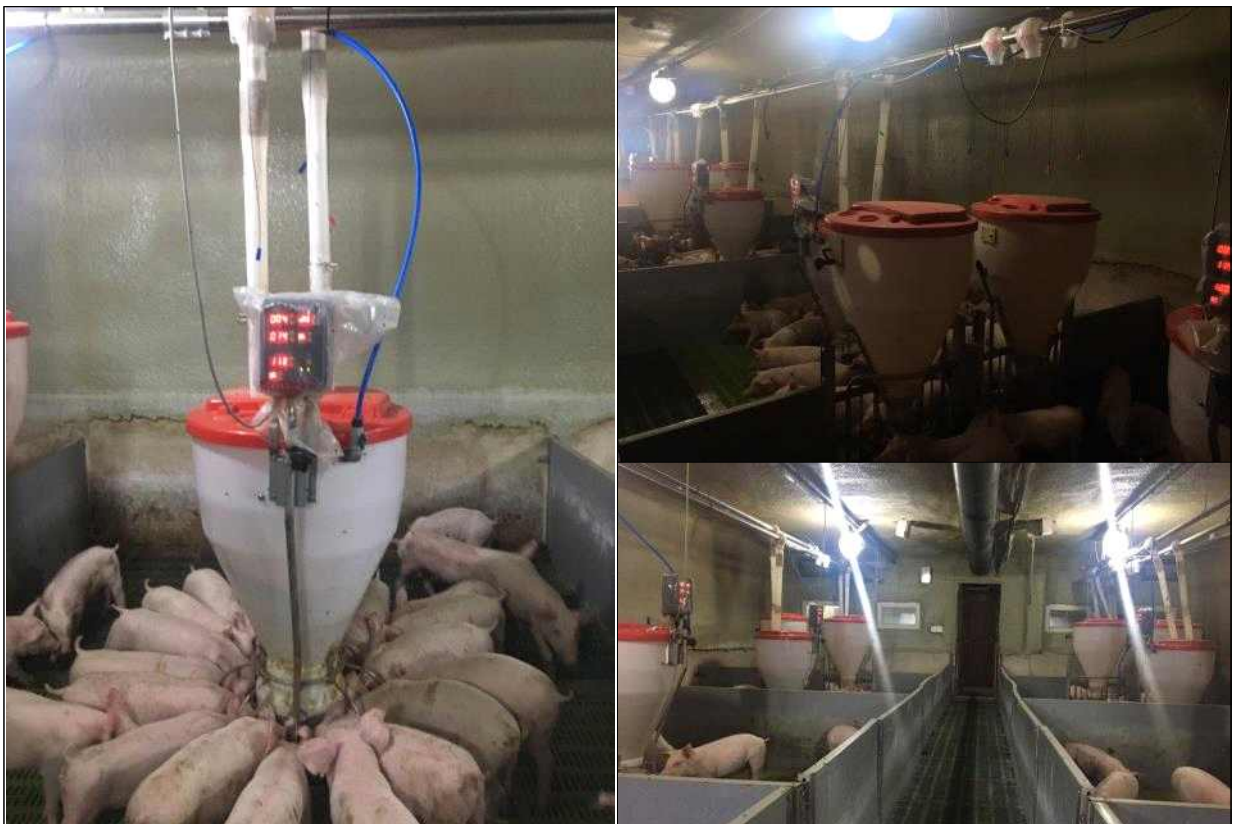
독립형



통합형

2. 액상사료급이기

- 액상급이란 용어는 흔히 습식급이란 말로 통용되고 있으며, 이를 영어로 말하면 wet feeding 또는 liquid feeding이라고 할 수 있음. 또한 자돈에서 물을 조금 섞어 급여하는 방법은 paste feeding이라 함. 그러나 우리나라에서 습식급이란 용어는 근래 양돈장에서 사용하고 있는 건습식급(dry and wet feeding) 형태와 혼동되어 사용되고 있음. 습식급이란 글자 그대로 액상으로 급여하는 형태임. 즉 건습식급이는 하나의 사료통안에 급수기(니플)가 장착되어 있어 돼지가 원할 때 물을 섭취할 수 있는데 반하여, 습식급이(이하 액상급이로 통일)는 인위적으로 사료와 물을 혼합하여 급여하기 때문에 돼지가 사료와 물을 선택 채식할 수 없음(채병조, 1998).
- 본 연구에서는 사료라인과 음수라인이 연결되어 있으며, 사료와 물을 동시에 급여하는 액상사료 급이시설임. 돈방내 액상급이 시설별로 사료급여량이 실시간으로 기록할 수 있고 급여량 조절이 가능한 시설임.
- 액상급이시설은 건식사료라인을 통해 믹싱탱크로 사료를 송출하고, 믹싱탱크에서는 건식사료와 물을 혼합하여 완전한 액상상태의 사료를 제조함. 제조한 액상사료는 사료잔량 센서가 부착된 급이기로 적정량 송출됨.



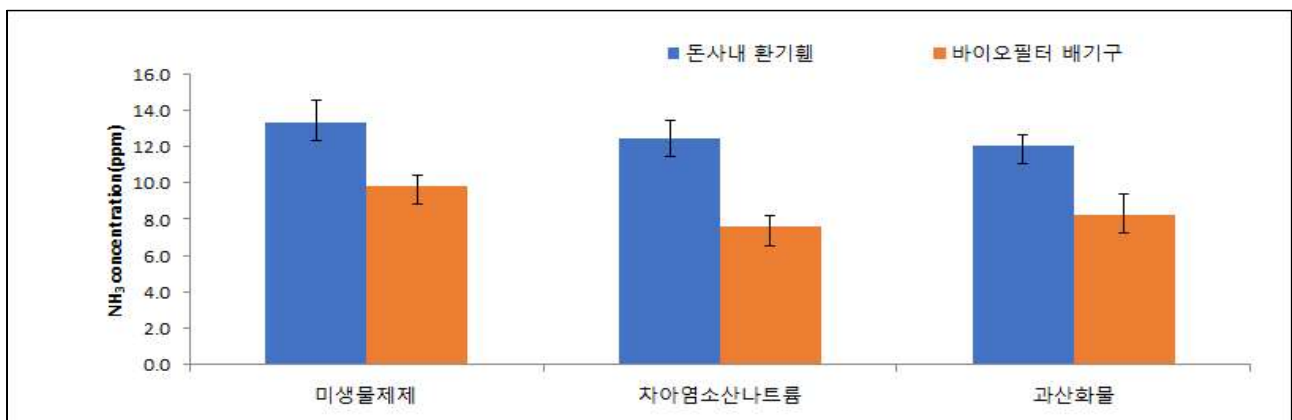
2) 연구조사 결과

<바이오필터 설치에 따른 악취저감 효과>

- 비육돈사 내부 측벽 환기팬 주변 악취농도와 돈사의부에 설치된 바이오필터 배기구의 악취농도를 측정하여 비교하였고, 바이오필터에서 악취를 저감하기 위해 분사되는 세정액의 종류에 따른 악취저감 효능을 비교하였음.
- 돈사내부 환기팬 주변의 암모니아(NH₃)의 농도는 세정액으로 미생물제제를 사용한 시험구에서 13.3±1.22ppm, 차아염소산나트륨 12.4±0.97ppm, 과산화물 12.0±0.62ppm으로 나타났고, 바이오필터 배기구의 암모니아 농도는 미생물제제를 사용한 시험구에서 9.8±0.60ppm, 차아염소산나트륨 7.6±0.64ppm, 과산화물 8.3±1.12ppm으로 나타남.
- 바이오필터 설치에 따른 암모니아 농도 저감율은 미생물제제의 경우 25.8%, 차아염소산나트륨 39.1%, 과산화물 31.3%로 나타났으며, 평균 32.2%의 저감율을 나타냄.

<표 130> 돈사내부 환기팬 및 바이오필터 배기구 암모니아(NH₃) 측정값 및 저감율

구분	암모니아(NH ₃) 농도(ppm) 및 저감율							
	1day			2day			평균	
	1	2	3	1	2	3		
돈사내부 환기팬 (ppm)	미생물제제	11.5	14.5	13.5	12.1	14.2	14	13.3±1.22
	차아염소산나트륨	11.3	13.8	13.1	11.5	12.8	12.1	12.4±0.97
	과산화물	11.4	12.1	12.9	11.9	12.5	11.3	12.0±0.62
바이오필터 배기구 (ppm)	미생물제제	8.8	10.5	10.1	9.6	10.2	9.8	9.8±0.60
	차아염소산나트륨	6.9	8.5	8.2	7.5	7.2	7.1	7.6±0.64
	과산화물	7.8	9.4	9.7	6.8	8.4	7.5	8.3±1.12
저감율 (%)	미생물제제	23.5	27.6	25.2	20.7	28.2	30.0	25.8
	차아염소산나트륨	38.9	38.4	37.4	34.8	43.8	41.3	39.1
	과산화물	31.6	22.3	24.8	42.9	32.8	33.6	31.3

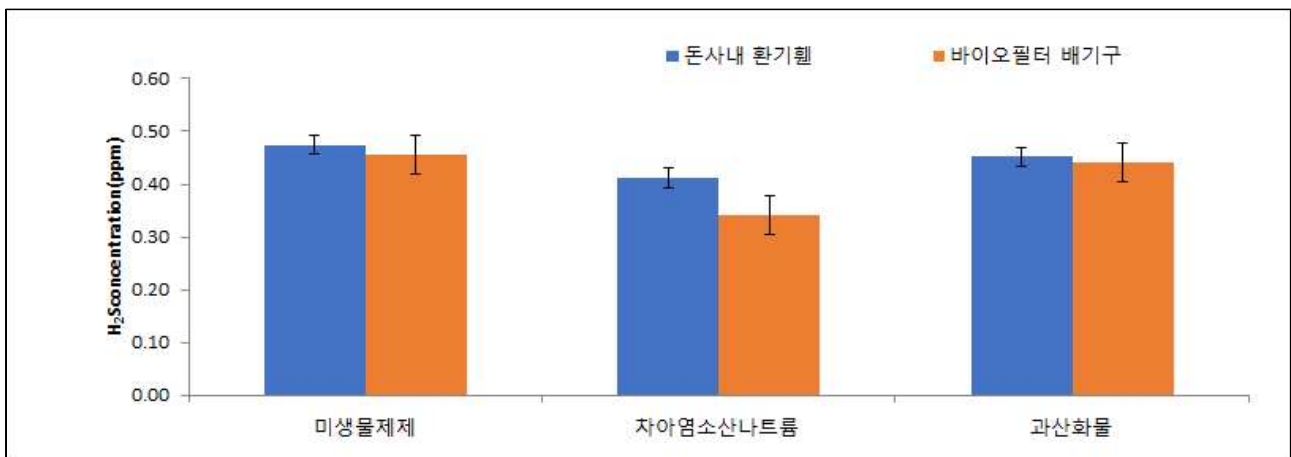


<그림 148> 돈사내부 환기팬 및 바이오필터 배기구 암모니아(NH₃) 측정값 및 저감율

- 돈사내부 환기웁 주변의 황화수소(H₂S)의 농도는 세정액으로 미생물제제를 사용한 시험구에서 0.48±0.03ppm, 차아염소산나트륨 0.41±0.02ppm, 과산화물 0.45±0.01ppm으로 나타났고, 바이오필터 배기구의 암모니아 농도는 미생물제제를 사용한 시험구에서 0.46±0.03ppm, 차아염소산나트륨 0.34±0.02ppm, 과산화물 0.44±0.01ppm으로 나타남.
- 바이오필터 설치에 따른 황화수소 농도 저감율은 미생물제제의 경우 3.9%, 차아염소산나트륨 17.0%, 과산화물 2.2%로 나타났으며, 평균 7.7%의 저감율을 나타냄.

<표 131> 돈사내부 환기웁 및 바이오필터 배기구 황화수소(H₂S) 농도 및 저감율

구분	황화수소(H ₂ S) 농도(ppm) 및 저감율							
	1day			2day			평균	
	1	2	3	1	2	3		
돈사내부 환기웁	미생물제제	0.48	0.49	0.51	0.42	0.47	0.48	0.48±0.03
	차아염소산나트륨	0.41	0.45	0.43	0.39	0.39	0.4	0.41±0.02
	과산화물	0.46	0.44	0.44	0.45	0.45	0.47	0.45±0.01
바이오필터 배기구	미생물제제	0.46	0.49	0.48	0.4	0.45	0.46	0.46±0.03
	차아염소산나트륨	0.35	0.37	0.35	0.32	0.33	0.33	0.34±0.02
	과산화물	0.45	0.44	0.43	0.43	0.45	0.45	0.44±0.01
저감율 (%)	미생물제제	4.17	0.00	5.88	4.76	4.26	4.17	3.9
	차아염소산나트륨	14.63	17.78	18.60	17.95	15.38	17.50	17.0
	과산화물	2.17	0.00	2.27	4.44	0.00	4.26	2.2



<그림 149> 돈사내부 환기웁 및 바이오필터 배기구 황화수소(H₂S) 농도 및 저감율

<액상사료 급이에 따른 악취저감 효과>

- 액상사료 급이기를 설치하여 액상사료를 급이하고 있는 자돈사와 액상사료 급이기가 설치되지 않은 건식사료를 급이하고 있는 자돈사의 악취농도를 측정·비교하여 액상사료 급이에 따른 악취저감 효과를 평가함.

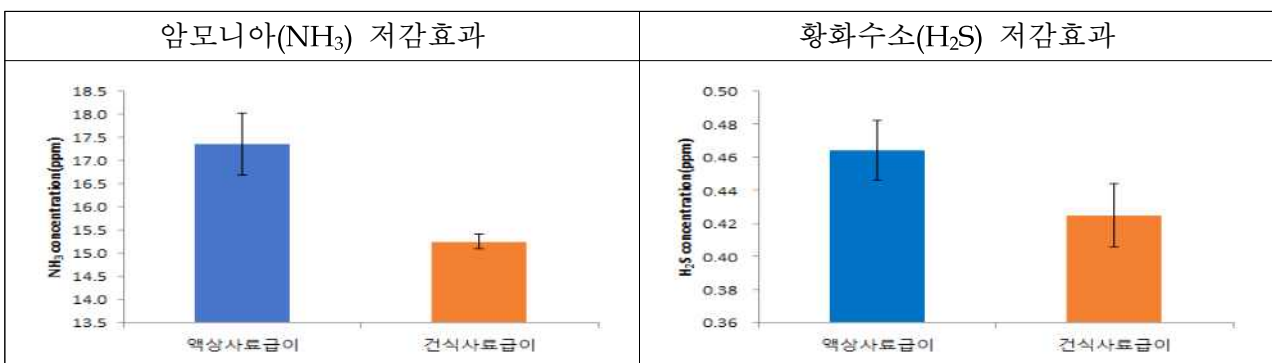
- 액상사료를 급이하는 자돈사내 암모니아(NH₃)의 농도는 17.4±0.67ppm으로 나타났고, 건식사료를 급이하는 자돈사내 암모니아 농도는 15.3±0.16ppm으로 나타남.
- 액상사료를 급이하는 자돈사내 황화수소(H₂S)의 농도는 0.46±0.02ppm으로 나타났고, 건식사료를 급이하는 자돈사내 황화수소 농도는 0.43±0.02ppm으로 나타남.
- 액상사료 급이에 따른 암모니아 농도 저감율은 12.0%로 나타났고, 황화수소 농도 저감율은 8.4%로 나타남.

<표 132> 액상사료 및 건식사료 급이에 따른 암모니아(NH₃) 농도 및 저감율

구분	암모니아(NH ₃) 농도(ppm) 및 저감율												평균
	1day						2day						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
액상사료급이	15.9	17.3	17.6	17.7	18.1	18.1	16.3	17.1	17.3	17.5	17.8	17.6	17.4±0.67
건식사료급이	14.8	15.2	15.2	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2	15.3	15.4	15.4	15.2	15.3±0.16
저감율(%)	6.9	12.1	12.6	11.0	15.5	15.5	6.1	8.4	11.6	12.0	13.5	13.6	12.0

<표 133> 액상사료 및 건식사료 급이에 따른 황화수소(H₂S) 농도 및 저감율

구분	황화수소(H ₂ S) 농도(ppm) 및 저감율												평균
	1day						2day						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
액상사료급이	0.45	0.44	0.5	0.46	0.45	0.44	0.47	0.46	0.49	0.47	0.47	0.46	0.46±0.02
건식사료급이	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.43	0.41	0.4	0.44	0.45	0.43	0.43	0.43±0.02
저감율(%)	6.7	2.3	12.0	2.2	0.0	2.3	12.8	13.0	10.2	4.3	8.5	6.5	8.4



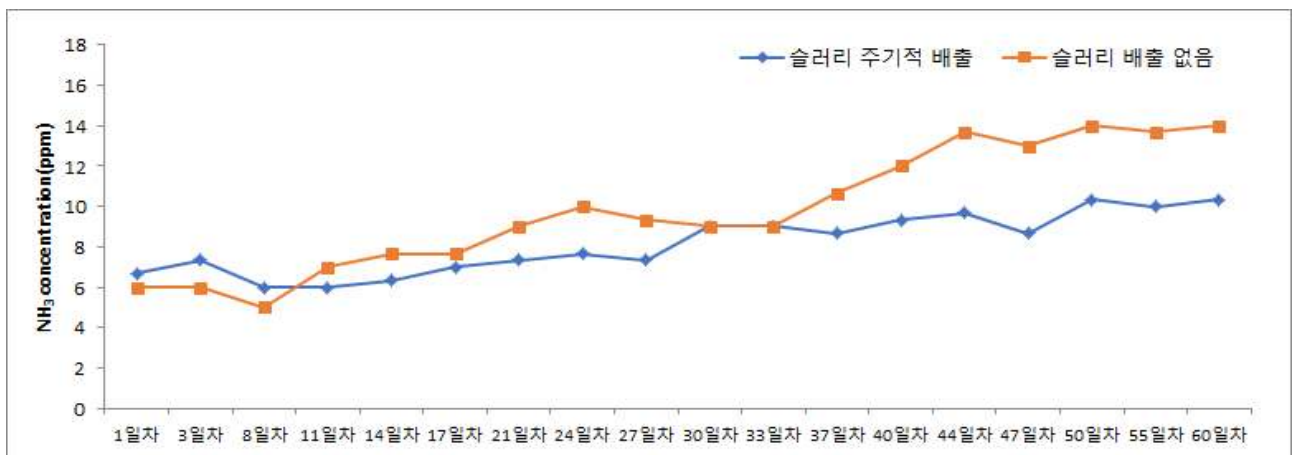
<그림 150> 액상사료 및 건식사료 급이에 따른 암모니아(NH₃) 및 황화수소(H₂S) 농도 및 저감율

<슬러리신속제거에 따른 악취저감 효과>

- 돈사형태가 슬러리피트인 비육사의 경우 출하 시까지 슬러리를 배출하지 않았을 경우의 돈사내 악취농도와 슬러리를 주기적(3주 간격)으로 배출했을 때 악취농도를 측정하여 비교·분석함.
- 슬러리를 배출하지 않았을 경우 돈사내 암모니아(NH₃)의 농도는 평균 10ppm으로 나타났고, 슬러리를 주기적으로 배출했을 경우 돈사내 암모니아 농도는 평균 8ppm으로 나타남. 슬러리의 주기적인 배출에 따른 암모니아 농도 저감율은 평균 17.0%로 나타남.

<표 134> 슬러리 주기적 배출에 따른 암모니아(NH₃) 농도 및 저감율

구분	암모니아(NH ₃) 농도(ppm) 및 저감율								저감율
	슬러리 주기적 배출				슬러리 배출 없음				
	측정지점				측정지점 B				
	A	B	C	평균	A	B	C	평균	
1일차	6	6	8	7	6	6	6	6	6
3일차	8	7	7	7	6	6	6	6	6
8일차	6	6	6	6	5	5	5	5	5
11일차	6	5	7	6	7	7	7	7	7
14일차	7	5	7	6	7	8	8	8	8
17일차	8	6	7	7	7	8	8	8	8
21일차	8	6	8	7	8	9	10	9	9
24일차	8	8	7	8	9	10	11	10	10
27일차	7	8	7	7	7	11	10	9	9
30일차	8	10	9	9	8	9	10	9	9
33일차	8	9	10	9	9	8	10	9	9
37일차	7	8	11	9	11	10	11	11	11
40일차	8	9	11	9	13	11	12	12	12
44일차	9	9	11	10	14	13	14	14	14
47일차	8	8	10	9	15	12	12	13	13
50일차	9	10	12	10	15	13	14	14	14
55일차	9	10	11	10	14	14	13	14	14
60일차	10	9	12	10	15	13	14	14	14
평균	8	8	9	8	10	10	10	10	17.0



<그림 151> 슬러리 주기적 배출에 따른 암모니아(NH₃) 농도 및 저감율

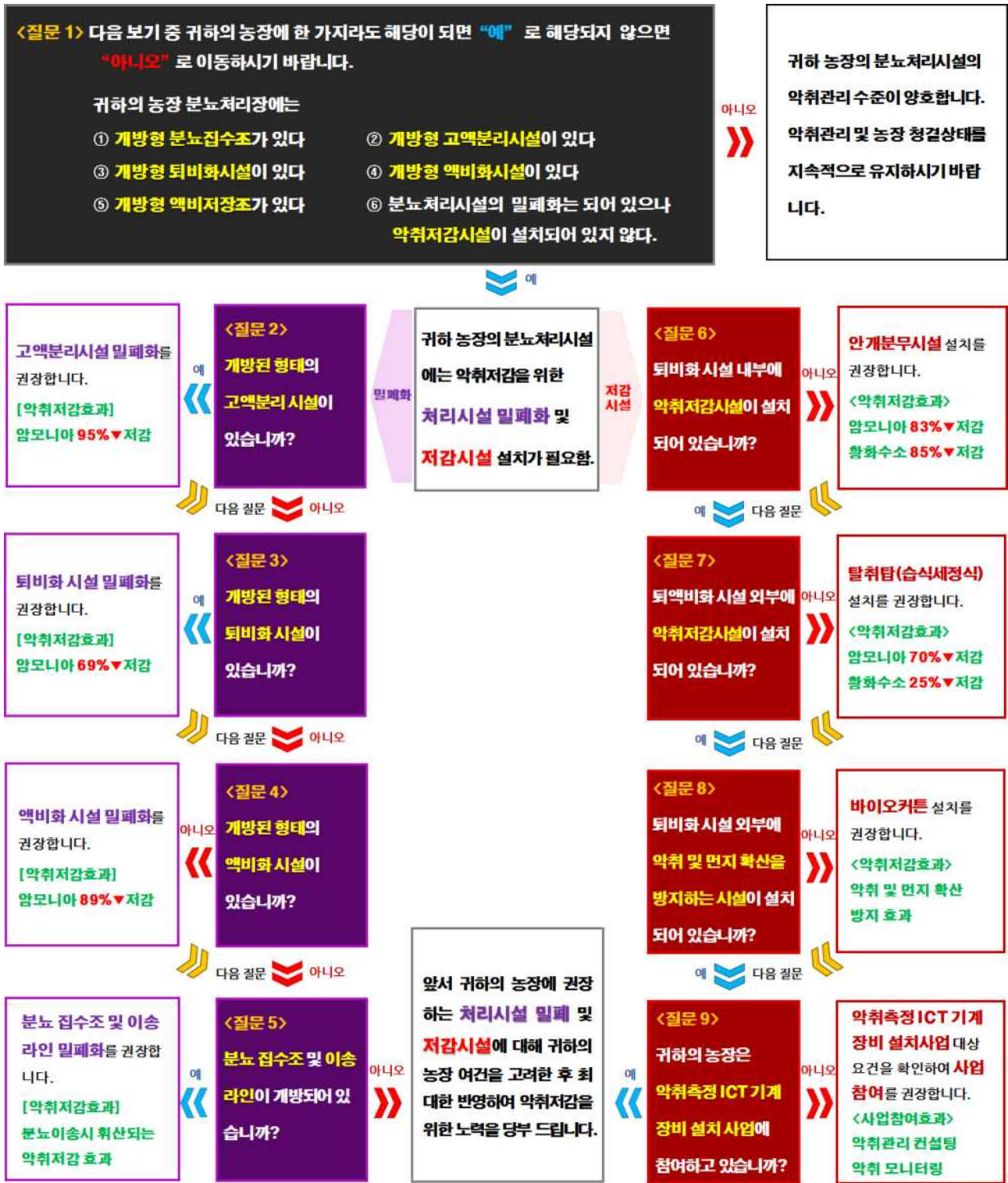
차. 양돈장 주요 악취물질 적정관리 기준

- 축산악취가 사회적 문제로 대두되어 관심이 높아짐에 따라 축산악취에 대한 다양한 연구들이 진행되었으며 축산악취 발생요인을 조사하고, 그에 대한 악취관리 방안들을 상세하게 제시한 바가 있음.
- 본 연구에서는 상세한 악취관리 방안보다는 현재 축산악취 저감을 위해 가장 많이 활용되고 있는 대표적인 악취 저감시설 및 관리기술을 조사하고, 그에 대한 악취저감 효과를 검증하기 위해 시험을 진행하였으며, 시험결과 악취저감 효과가 우수한 것으로 나타난 시설과 기술들로 구성된 악취관리 방안을 마련하였음.
- 이와 같은 연구결과를 바탕으로 양돈농가가 스스로 돈사 및 분뇨처리시설의 악취발생 요인을 쉽게 파악하고, 그에 대한 악취 저감시설 및 관리기술의 적용여부를 판단할 수 있도록 하는데 중점을 두어 양돈장 주요 악취물질 적정관리 기준을 제시하였음.
- 양돈장 주요 악취물질 적정관리 기준은 “양돈농가 악취관리 자가진단 테스트”와 “양돈농가 악취물질 적정관리 모델”로 구성하였으며, 자가진단 테스트를 통해 해당 농가에 적용이 필요한 악취 저감시설 및 관리기술을 간단히 확인할 수 있도록 하였고, 악취물질 적정관리 모델을 통해 돈사 및 분뇨처리시설의 악취저감을 위해 필요한 주요 저감시설과 관리기술을 한눈에 볼 수 있도록 하였음.

1) 양돈농가 악취관리 자가진단 테스트

- 악취관리 자가진단을 통해 농장에서 악취관리가 필요한 부분을 체크할 수 있으며, 그에 대한 관리방법을 확인 할 수 있음. 자가진단 테스트는 돈사와 분뇨처리장 2가지 유형으로 구분되어 있으며, 각각 시설과 관리측면에서 악취관리가 필요한 부분을 확인할 수 있음.
- 자가진단 방법은 우선 첫 번째 질문은 돈사 또는 분뇨처리장에 악취관리가 필요한지 여부를 확인할 수 있고, 악취관리가 필요한 경우에는 다음 질문 순서에 따라 “예” 또는 “아니오”, “다음질문”으로 이동하여 해당 농가의 돈사 또는 분뇨처리장에 악취관리가 필요한 부분을 체크하고, 그에 대한 악취저감 시설 및 관리기술을 확인할 수 있도록 하였음.
- 돈사 자가진단은 총 11가지 문항으로 구성되어 있음. 첫 번째 질문은 돈사내부 악취발생 농도, 민원발생 여부를 통해 악취관리 필요여부를 확인할 수 있도록 하였고, 다음 2~6번 질문은 돈사 및 바닥구조 형태, 악취저감시설 유무, 사료유형에 관한 질문으로 악취저감시설의 필요여부를 확인할 수 있으며, 7~11번 질문은 돈사바닥구조 형태, 사육밀도, 사료유형 및 첨가제이용 여부에 관한 질문으로 관리기술의 필요여부를 확인할 수 있도록 하였음.
- 분뇨처리시설 자가진단은 총 9가지 문항으로 구성되어 있음. 첫 번째 질문은 개방형태 처리시설 유무, 악취저감시설 유무를 통해 악취관리 필요여부를 확인할 수 있고, 다음 2~5번 질문은 고액분리시설, 퇴·액비화시설, 분뇨집수조 및 이송라인의 개방 여부에 관한 질문으로 시설 밀폐화의 필요여부를 확인할 수 있으며, 6~9번 질문은 악취저감시설 유무에 관한 질문으로 악취저감시설의 필요여부를 확인할 수 있도록 하였음.

<분뇨처리시설 악취관리 자가진단 테스트>



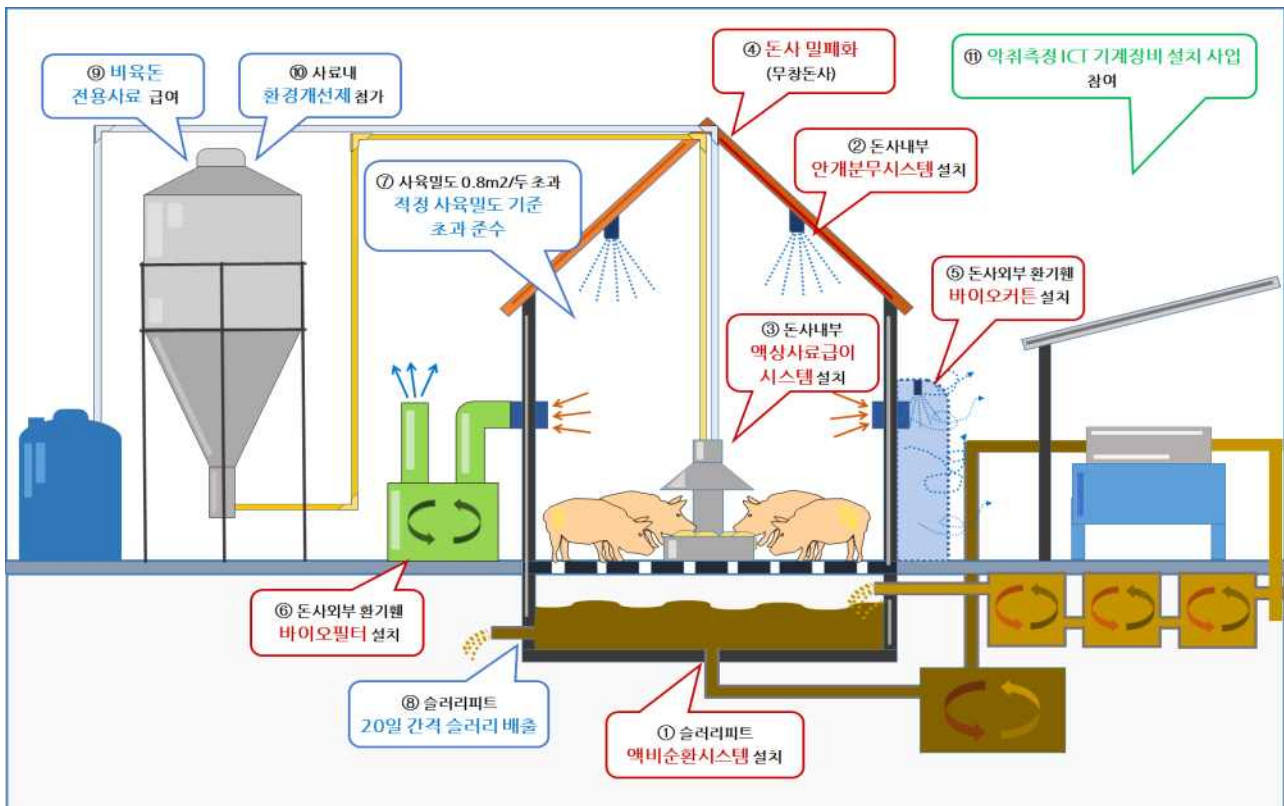
<그림 153> 분뇨처리시설 악취관리 자가진단 테스트

2) 양돈농가 악취물질 적정관리 모델

○ 자가진단 테스트에서 권장하는 돈사 내·외부 및 분뇨처리시설의 악취저감 시설과 관리기술을 적용하여 “돈사 악취물질 적정관리 모델”과 “분뇨처리장 악취물질 적정관리 모델”을 구성하면 아래와 같음.

<돈사 악취물질 적정관리 모델>.

<표 135> 돈사 악취물질 적정관리 모델



구분		악취저감 시설개요	악취저감 효과
악취저감 시설	돈사 내부	① 액비순환시스템	슬러리피트 액비재순환을 통해 돈사내부 악취저감 암모니아 47%▼저감 항화수소 87%▼저감
		② 안개분무시스템	돈사내부 악취저감제 분무로 돈사내부 발생 악취저감 암모니아 26%▼저감
		③ 액상급이시스템	자동 및 모든 액상사료 급이를 통해 분진발생을 줄여 악취물질 확산 최소화 암모니아 12%▼저감 항화수소 11%▼저감
	돈사 외부	④ 돈사외부 안개분무(무창돈사)	돈사 밀폐화를 통해 돈사내부에서 발생한 악취가 외부로 확산되지 않도록 함. 돈사외부 악취확산 방지효과
		⑤ 바이오커튼	돈사외부 바이오커튼 설치를 통해 악취 및 먼지를 제어하여 악취저감 암모니아 93~99%▼저감
		⑥ 바이오필터	돈사외부 바이오필터 설치를 통해 악취 및 먼지를 제어하여 악취저감 암모니아 32%▼저감
악취저감 기술	⑦ 적정사육밀도 초과 준수	1.0m ² /두 이상 저밀도 사육을 통해 돈사내부 단위면적당 발생 악취저감 (0.8m ² /두→1.0m ² /두) 암모니아 9%▼저감	
	⑧ 20일 간격 슬러리 배출	슬러리피트내 슬러리를 주기적(20일 간격)으로 배출하여 돈사내부 발생 악취저감 암모니아 18%▼저감	
	⑨ 비육돈 전용사료 급여	비육돈 전용사료 급여(사료내 단백질 함량 조절)를 통해 분뇨에서 발생하는 악취저감 (단백질함량 17→15%) 암모니아 25%▼저감	
	⑩ 사료내 환경개선제 첨가	사료내 환경개선제 첨가를 통해 분뇨에서 발생하는 악취저감 암모니아 47%▼저감	
악취관리 유지	⑪ 악취측정 ICT 기계장비 설치사업		

카. 돈사 및 분뇨처리시설 악취저감 유지관리 방안

- 앞서 제시한 돈사 및 분뇨처리시설의 악취저감 시설 설치 및 관리기술을 적용함으로써 양돈장에서 발생하는 악취를 저감시킬 수 있음.
- 이와 같은 악취저감 효과를 유지하기 위해서는 지속적인 관심과 적정한 관리가 필요함. 그러나 농가단위에서 지속적으로 악취를 모니터링하며 관리하기에는 한계가 있을 것으로 보임.
- 축산환경관리원에서는 악취관리지원센터를 구축하고 '17년부터 광역축산악취개선사업을 추진하여 축산 악취측정 ICT 기계·장비 설치 사업 및 사후관리를 실시하고 있음.
- 해당 사업을 통해 축산농가에서 발생하는 악취 및 온습도를 실시간으로 모니터링하여 문제 발생 시 농장에서 신속하게 대응하여 조치할 수 있도록 하고 있으며, 측정된 데이터를 분석하여 농가별로 맞춤형 컨설팅을 실시하고 있음.
- 환경관리원에서는 지속적으로 사업대상 지역을 늘리고 있으며, 해당지역에 사업 참여요건을 갖춘 농가에서는 적극적으로 사업에 참여하여 악취관리를 지속해나갈 필요가 있음.



<그림 154> 축산악취 ICT 기계장비 상세 모식도

타. 악취저감 시설별 투자·운영비 및 악취저감 효과

- 돈사내부 악취저감 시설로는 액비순환시스템과 안개분무 시설이 있음. 액비순환시스템은 슬러리 피트내 악취발생 요인을 제어하는 시설이고, 안개분무 시설은 발생한 악취를 저감시키는 시설임. 액비순환시설은 기존 액비화시설과 연계할 수 있는 장점이 있음. 설치비가 높으나 농가들의 만족도가 매우 높은 시설임. 안개분무 시설은 설치비가 낮고, 운영비가 낮으나 악취저감 효과가 지속적으로 낮은 단점이 있음.
- 돈사외부 악취저감 시설로는 바이오커튼과 바이오필터가 가장 널리 이용되고 있음. 바이오커튼의 경우 안개분무 시설과 병행할 경우 악취저감 효과가 매우 높고, 바이오필터는 바이오커튼에 비해 악취저감 효과가 높지 않은 편임. 시설비용 측면에서 바이오커튼이 높으나 악취저감 효과를 고려하면 바이오커튼의 효율이 높다고 할 수 있음.
- 퇴·액비화 시설에서 악취저감 수단으로 많이 이용하고 있는 탈취탑은 고농도의 악취에 대한 악취저감 효과가 높은 편임. 설치비는 다른 악취저감 시설과 비교하여 높은 편은 아니나 전기료가 많이 소요되는 단점이 있음.

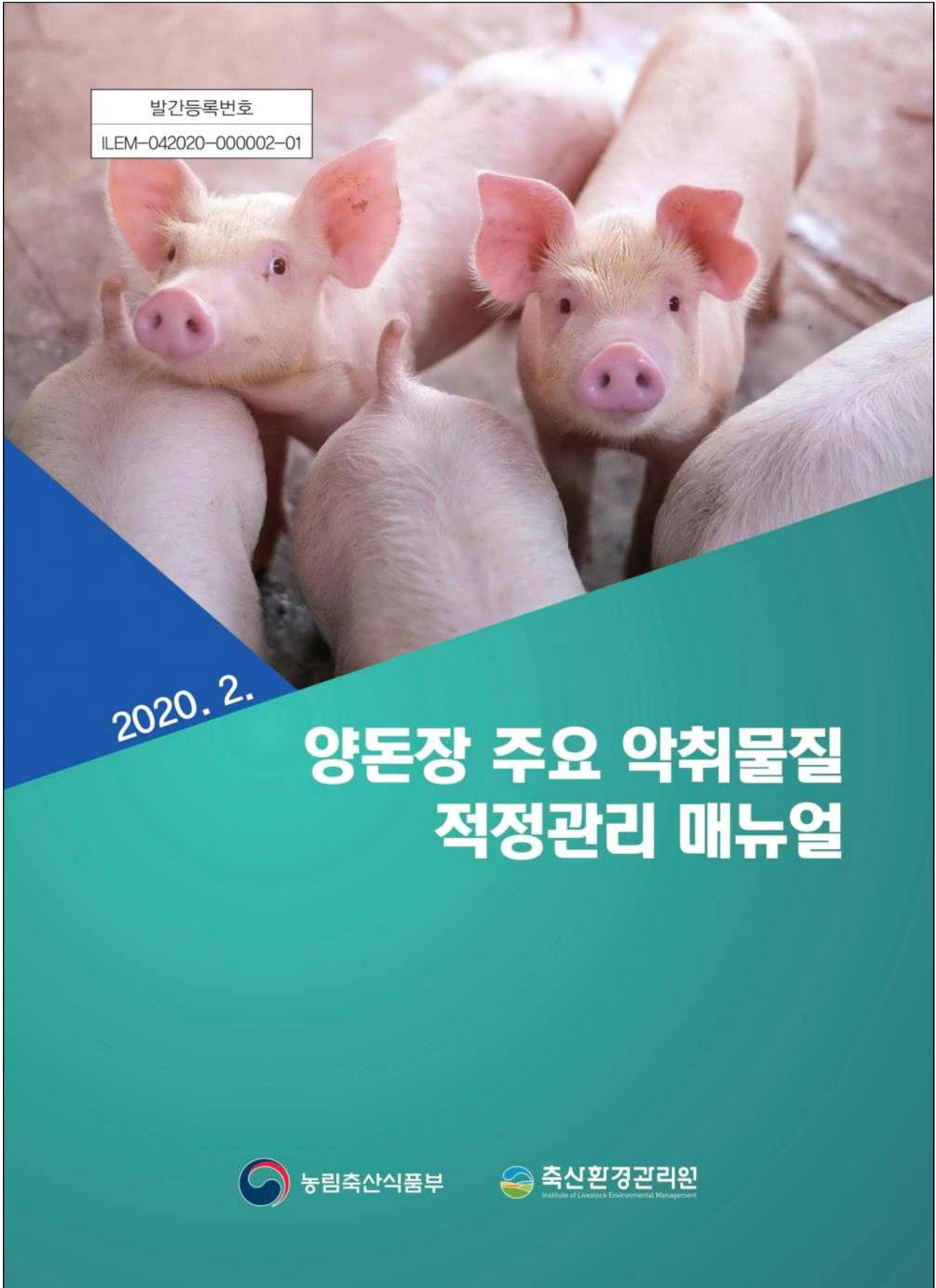
<표 137> 악취저감 시설별 투자·운영비 대비 악취저감 효과 분석

구분	업체	공사비용				일반 관리비	이윤	공급 가액	부가 가치세	기타 (설계비 등)	총 공사비	운영비 (월)	기타	악취저감 효과
		재료	노무	경비	소계									
바이오커튼+ 안개분무 (60m 1동/1단)	A	30,939	10,182	6,910	48,031	2,882	2,996	53,900	53,900	-	59,299	71	이온수 제조기 축산악취제거기 (26,542천원 포함)	돈사외부 암모니아 93~99%▼저감
바이오커튼	B	7,514	4,033	462	12,009	721	730	13,459	1,346	200	15,005	-		돈사외부 암모니아 55~98%▼저감
안개분무		8,644	3,971	505	13,119	787	737	14,643	1,464	200	16,308	80		돈사내부 암모니아 22~29%▼저감
바이오커튼+ 안개분무 (100m 1동/1단)		16,158	8,004	966	25,128	1,508	1,467	28,102	2,810	400	31,313	80		돈사외부 암모니아 93~99%▼저감
바이오필터 (환기팬 50파이 1기)	C	1,388	841	101	2,330	150	160	2,640	264	-	294	70		돈사외부 암모니아 26~40%▼저감
액비순환시스템 (30톤/일)	D	143,154	25,400	7,257	175,811	10,549	4,320	190,680	19,068	-	209,748	2,845	액비순환시스템 (30톤/일)	돈사내부 암모니아 47%▼저감
액비순환시스템 (20톤/일)	E	341,263				-	34,126	377,261	37,726	-	413,115	1,101		
액비순환시스템 (10톤/일)	F	74,460	12,000	3,000	89,460	4,473	1,947	95,880	9,588	-	105,468	913	건축/토목제외 원심분리기 제외	
퇴비사 밀폐 (96평)	G	11,756	5,728	1,672	19,156	-	-	-	-	-	19,156	-	C/S 100T	퇴비화시설 외부 암모니아 69%▼저감
퇴비사 밀폐 (100평)	H	17,000	20,000	13,000	50,000	-	-	-	-	-	50,000	-	C/S 0.5T PE강판 +아연리파이프	
액비화시설 밀폐 (400톤)	I	4,000				-	-	-	400	-	4,400	-	탱크형저장조 적용 스티인리스	액비화시설 외부 암모니아 89%▼저감
탈취탑 (100m ³ /min)												22,000	5,128	퇴비화시설 외부 암모니아 70%▼저감

* 상기 재원은 시공사, 자원, 기술, 인건비, 설치 위치 및 용량 등에 따라 변화가능(참고용으로 활용)
 * 운영비의 경우 전기료, 약품 등 값을 포함(전기료 : 전기사용량 × 농사용 전력 4계절 요금 평균/41.2원/kWh)

파. 양돈장 주요 악취물질 적정관리 매뉴얼

- 양돈장 주요 악취물질 적정관리 매뉴얼은 본 연구에서 진행된 연구결과를 바탕으로 구성하였으며, 악취저감 방법에 대해서는 일부 기 연구된 결과를 인용하였음.
- 본 매뉴얼에서는 양돈농가에게 양돈장에서 발생하는 악취물질의 종류와 특성, 주요 악취물질의 배출량을 소개하였고, 악취물질 발생요인에 따른 적정 관리방법과 악취관리를 위한 시설투자 및 운영비를 제시하였음.
- 매뉴얼의 주요 구성내용은 첫 번째로 양돈장에서 발생하는 악취물질에 대한 종류와 특성을 조사하여, 악취물질 중 주요관리 대상물질로서 실시간 현장 평가가 용이한 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)를 선정하였고, 이에 대한 악취물질 배출량 산정결과를 제시하여 농가에서 돈사 및 분뇨처리장에서 배출되는 악취물질의 양을 어느 정도 수준인지 파악할 수 있도록 하였음.
- 다음으로 돈사내부, 돈사외부, 분뇨처리시설에서 발생하는 악취발생요인을 제시하였음. 돈사내부에서 발생하는 주요 악취발생 요인은 슬러리피트, 환경관리, 분뇨관리, 사료관리로 구분하여 그에 대한 악취저감 방법으로 액비순환시스템, 안개분무시설, 적정 사육밀도 초과 준수, 20일 간격 슬러리 배출, 비육돈 전용사료 급여, 사료내 환경개선제 첨가, 액상사료급이시스템 등을 제시하였음.
- 돈사외부에서 발생하는 주요 악취발생 요인은 개방형 돈사형태, 돈사 환기웬으로 구분하여 그에 대한 악취저감 방법으로 돈사 밀폐화(무창돈사), 악취저감시설(바이오커튼, 바이오필터) 설치 등을 제시하였으며, 분뇨처리시설에서 발생하는 주요 악취발생 요인은 전처리시설, 퇴비화시설, 액비호시설, 액비저장조, 분뇨집수조 및 이송라인으로 구분하였고, 그에 대한 악취저감 방법으로 분뇨처리시설 밀폐화, 악취저감시설 설치(안개분무시설, 바이오커튼, 탈취탑) 등을 제시하였음.
- 주요 악취물질 발생요인과 악취저감 방법들을 소개한 후, 다음으로 농가들이 자가 농장의 돈사 및 분뇨처리장의 악취발생 요인을 파악하고, 악취저감 방법을 확인할 수 있도록 돕기 위해 양돈농가 악취관리 자가진단 테스트 및 분뇨처리시설 악취물질 적정관리 모델로 구성된 양돈장 주요 악취물질 적정 관리기준을 제시하였음.
- 마지막으로 앞서 제시한 악취저감 방법들에 대한 시설 투자비 및 운영비를 제시하여 농가에서 의사결정시 참고자료로 활용할 수 있도록 하였음.
- 본 연구를 통해 제작된 악취물질 적정관리 매뉴얼은 축산환경관리원에서 양돈 농가를 대상으로 실시하고 있는 축산환경 개선 교육, 지도·점검, 컨설팅 시 교육·지도 자료로 보급함으로써 농가에서 직접 악취발생 요인에 대한 자가 점검을 실시하고, 해당 악취발생 요인을 적절하게 관리하여 악취저감이 가능하도록 하며, 또한 본인 농장에서 발생하는 악취를 저감시키기 위해서는 어떠한 저감시설을 설치하는 것이 가장 적합한가에 대해 스스로 판단할 수 있도록 함.



I. 축산악취 현황과 관리의 필요성	1
II. 양돈장 악취물질 개요	2
1. 양돈장 악취물질 종류	2
2. 양돈장 악취물질 특성	2
III. 주요 관리대상 양돈장 악취물질	3
1. 주요 관리대상 악취물질 선정	3
2. 주요 관리대상 악취물질 배출량	3
IV. 양돈장 악취물질 주요 발생요인	4
1. 돈사내부 주요 악취발생 요인	4
2. 돈사외부 주요 악취발생 요인	5
3. 분뇨처리시설 주요 악취발생 요인	5
V. 양돈장 악취물질 적정관리 방법	6
1. 돈사내부 악취물질 적정관리 방법	6
2. 돈사외부 악취물질 적정관리 방법	13
3. 분뇨처리시설 악취물질 적정관리 방법	16
4. 양돈장 주요 악취물질 적정관리 기준	19
VI. 악취저감 시설 투자 및 운영비	23

I 축산악취 현황과 관리의 필요성

- 우리나라 경제는 지난 반세기 동안 눈부신 성장을 해왔으며, 그 과정에서 악취를 발생시키는 다양한 배출원들이 생겨났음. 경제성장 과정에서 악취에 의한 불편에 대해 사회적으로 관심이 적었으나, 생활수준 향상과 함께 건강하고 쾌적한 삶을 추구하게 되면서 악취에 대한 피해 민원이 크게 증가하고 있음.
- 다양한 악취 배출원들 중에서 가장 많은 민원을 유발하고 있는 악취는 축산악취로 알려지고 있으며, 축산악취 민원 중에서도 가장 큰 비중을 차지하는 곳은 양돈장으로 나타남.
- 이와 같이 양돈장에서 발생하는 악취는 지역생활 환경에 큰 피해를 가져오는 사회적인 문제로 부각되고 있으며, 양돈산업의 지속적인 성장과 발전에 큰 저해요인으로 작용하고 있음.
- 이러한 양돈장의 악취문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 양돈장에서 발생하는 악취물질을 적정하게 관리하여 악취를 저감시키는 양돈농가의 자구적인 노력이 필요함.
- 따라서 본 매뉴얼에서는 양돈장에서 발생하는 주요 악취물질 및 발생요인을 파악하고, 그 요인들을 제어할 수 있는 경제적이고 효과적인 악취저감 시설 및 관리기술을 조사하여 양돈농가가 현장에서 악취물질을 적정하게 관리하여 악취를 저감시킬 수 있는 방안을 제시하고자 함.

II 양돈장 악취물질 개요

1. 양돈장 악취물질 종류

- 양돈장에서 발생하는 악취물질은 페놀류, 질소화합물류, 황화합물류, 아민류, 지방산류 등이 주를 이루고 있으며, 알데하이드류 및 케톤류도 발생하지만 악취유발 기여도가 다른 악취물질에 비해 상대적으로 낮음. 주요 악취기여 물질은 질소화합물류인 암모니아와 황화수소, 황화합물류인 메틸메르캡탄임.

2. 양돈장 악취물질 특성¹⁾

- 양돈장에서 발생하는 악취물질 중 아민류는 생선비린내 등 썩는 냄새를 유발하고, 페놀류인 페놀과 P-크레졸은 약품냄새, 질소화합물인 인돌과 스카톨은 대변냄새, 황화합물은 계란/양파 썩는 냄새. 지방산류는 시큼한 자극적인 냄새를 유발함. 이와 같이 돈사악취는 복합취로서 축사형태, 사양관리, 분뇨처리 방법 등에 따라 다양한 특성을 보임.

그룹	악취물질	화학식	악취감지최소농도(ppmv)	냄새특성
페놀류(Phenol)	페놀(phenol)	C ₆ H ₅ OH	0.0056	약품냄새
	P-크레졸(p-cresol)	CH ₃ C ₆ H ₄ OH	0.00028	약품냄새
질소화합물류(nitrogen containing compounds)	인돌(indole)	C ₈ H ₇ N	0.00030	대변냄새
	스카톨(Skatole)	C ₉ H ₉ N	0.00000056	대변냄새
	암모니아(Amonia)	NH ₃	1.5	오줌냄새
황화합물류(Sulfur containing compounds)	황화수소(Hydrogen sulfide)	H ₂ S	0.00041	계란 썩는 냄새
	메틸메르캡탄(MethylMercaptan)	CH ₃ S	0.000070	양파 썩는 냄새
	디메틸설파이드(Dimethyl sulfide)	C ₂ H ₆ S	0.0030	양배추 썩는 냄새
	디메틸디설파이드(Dimethyl disulfide)	C ₂ H ₆ S ₂	0.0022	자극성
아민류(Amines)	트리메틸아민(Trimethylamine)	C ₃ H ₉ N	0.000032	생선 썩는 냄새
지방산류 (Carboxylic acids)	초산(Acetic acid)	CH ₃ COOH	0.006	자극적 산냄새
	프로피온산(Propionic acid)	CH ₃ CH ₂ COOH	0.0057	자극적 산냄새
	부티르산(Butyric acid)	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	0.00019	불쾌한 땀냄새
	발레르산(Valeric acid)	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	0.000037	썩은 치즈 냄새
	i-부티르산(i-Butyric acid)	(CH ₃) ₂ CHCOOH	0.0015	불쾌한 땀냄새
	i-발레르산(i-Valeric acid)	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH	0.000078	썩은 치즈 냄새

1) 환경부, 악취관리 편람, 2012

III 주요 관리대상 양돈장 악취물질

1. 주요 관리대상 악취물질 선정

- 미국 Iowa State University⁽¹²⁾에서는 후각으로 인지하는 복합악취와 암모니아, 황화수소의 상관관계 분석을 통해 현장에서 실시간으로 기기분석이 가능한 암모니아와 황화수소는 복합악취와 상관관계가 매우 높다는 것을 보고한 바 있음.
- 따라서 본 매뉴얼에서는 축사와 분뇨처리장에서 발생하는 주요 관리대상 악취물질로서 실시간 현장 평가가 용이한 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S)를 선정하였음.

2. 주요 관리대상 악취물질 배출량

- 양돈장에서 발생하는 악취는 돼지의 성장단계, 계절적인 요인, 시설형태에 따라 발생량이 다르며, 이와 같은 요인을 반영하여 주요 악취물질 배출량을 산정함.

2-1. 돈사 암모니아(NH₃) 배출량

구분	NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	10.2±1.8	13.0±2.0	15.5±3.5
여름	27.6±6.1	24.9±2.0	35.1±2.2
겨울	6.5±1.4	7.0±2.0	-

2-2. 돈사 황화수소(H₂S) 배출량

구분	H ₂ S 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	0.5±0.2	1.2±0.1	2.3±0.1
여름	1.4±0.5	1.7±0.1	1.3±0.1
겨울	1.0±0.3	0.2±0.2	-

2-3. 퇴·액비화 시설 암모니아(NH₃) 및 황화수소(H₂S) 배출량

구분	일일 NH ₃ 배출량(kg/t/day)	일일 H ₂ S 배출량(g/t/day)
퇴비화 시설	40.8±19.1	41.4±22.2
액비화 시설	827.4±35.3	33.2±22.6

IV 양돈장 악취물질 주요 발생요인

- ☑ 돈사내의 축산 악취물질은 사료내 탄수화물과 단백질이 돼지의 장내에서 불완전하게 소화되어 분의 형태로 배설되고, 돈사 내에서 장기 저장됨에 따라 혐기성 상태로 발효가 일어나면서 악취가 발생함. 퇴·액비화 시설에서는 수거된 돈분뇨가 혐기성 상태로 저장되는 경우에 악취발생 농도가 높음²⁾.
- ☑ 이와 같이 축산악취는 돈사에서 돼지를 사육하는 과정에서 발생하는 악취, 그리고 분뇨처리시설에서 퇴·액비화 과정에서 발생하는 악취로 구분할 수 있음.

1. 돈사내부 주요 악취발생 요인

- 돈사내부의 주요 악취발생 요인은 돈사 바닥구조, 사육환경관리, 돈사 분뇨관리, 사료급여 관리 등으로 구분할 수 있으며, 슬러리피트에 액비순환시스템 설치, 돈사내부 안개분무시설 설치, 적정사육밀도 기준(0.79m²/두) 초과 준수, 비육돈 전용사료(단백질 함량 15%) 급여, 사료내 환경개선제 첨가, 액상사료급이시스템 설치 등을 통해 악취를 저감시킬 수 있음.

악취발생요인	악취저감방법
슬러리피트	- 액비순환시스템 설치
환경관리	- 안개분무시설 설치 - 적정 사육밀도 기준(0.79m ² /두) 초과 준수
분뇨관리	- 슬러리피트 분뇨 슬러리 주기적(20일 간격) 배출
사료관리	- 비육돈 전용사료(단백질 함량 15%) 급여 - 사료 내 환경개선제 첨가 - 액상사료급이시스템 도입설치

2) 국립축산과학원. 양돈장 냄새발생원인과 양돈현장에서의 냄새저감 실천방안. 2018

2. 돈사외부 주요 악취발생 요인

- 돈사외부에서 발생하는 악취는 개방형 돈사(유창돈사)에서 외부로 확산되는 악취와 돈사 환기환을 통해 외부로 배출되는 악취로 구분할 수 있음. 따라서 개방형 돈사 및 돈사 환기환을 주요 악취발생 요인으로 볼 수 있으며, 돈사 밀폐화(무창돈사) 및 악취저감시설(바이오커튼, 바이오필터) 설치를 통해 악취를 저감시킬 수 있음.

악취발생요인	악취저감방법
개방형 돈사	- 돈사 밀폐화(무창돈사)
돈사 환기환	- 악취저감시설(바이오커튼, 바이오필터) 설치

3. 분뇨처리시설 주요 악취발생 요인

- 분뇨처리시설의 주요 악취발생 요인은 고액분리시설, 퇴비화시설, 액비화시설, 액비저장조 등의 요인들이 있으며, 처리시설 밀폐 및 시설외부 악취저감시설 설치를 통해 악취를 저감시킬 수 있음.

악취발생요인	악취제어방식
전처리(고액분리)시설	- 고액분리시설 밀폐 - 시설 외부 악취저감시설 설치
퇴비화시설	- 퇴비화시설 밀폐 - 시설 내부 악취저감시설(안개분무시설) 설치 - 시설 외부 악취저감시설(탈취탑 또는 바이오커튼) 설치
액비화시설	- 액비화시설 밀폐 - 시설 외부 악취저감시설 설치
액비저장조	- 액비저장조 밀폐 - 시설 외부 악취저감시설 설치

V 양돈장 악취물질 적정관리 방법

1. 돈사내부 악취물질 적정관리 방법

1-1. 슬러리피트 분뇨처리 방식에 따른 악취 관리 ⇨ 액비순환 시스템 설치

- 액비순환시스템은 현재 국내에서 크게 주목받고 있는 악취저감 방법으로 사육과정에서 발생하는 슬러리 분뇨를 액비화 한 후, 그 액비를 돈사 하부의 슬러리피트로 재순환 하는 것을 반복적으로 수행하는 시스템임.
- 호기적 처리과정을 거쳐 호기성 미생물이 충분한 처리수를 슬러리피트로 재유입함으로써 슬러리피트내 악취유발물질 농도를 낮추어 악취를 저감(암모니아 47%, 황화수소 87% 저감)하는 효과와 동시에 분뇨의 후처리공정 부담을 완화시킬 수 있음.

| 액비순환 시스템 설치 사례 |



※ 돈사내부 악취저감 효과 : 암모니아 47%▼저감, 황화수소 87%▼저감

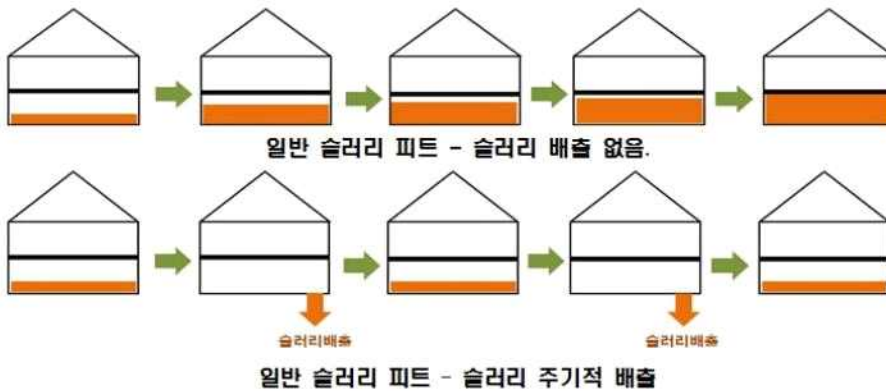


| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)			H ₂ S 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	5.4 ± 1.0	6.9 ± 1.1	8.2 ± 1.9	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0
여름	14.6 ± 3.2	13.2 ± 1.1	18.6 ± 1.2	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0
겨울	3.4 ± 0.7	3.7 ± 1.1		0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	

1-2. 슬러리피트 내 슬러리 배출 주기에 따른 악취 관리 ⇨ 20일 간격 슬러리 배출

- 슬러리피트 돈사에서서는 배설된 분뇨가 장기간 누적되어 저장기간이 길어지면 정상적인 발효가 이뤄지지 못하고, 부패되면서 악취물질의 발생이 증가하게 됨.
- 비육돈 입식 후 슬러리피트에 분뇨가 누적되면서 입식 20일차부터 돈사내부 악취(암모니아)농도가 10ppm이상으로 높아지고, 이후 15ppm이상으로 악취농도가 높아짐. 따라서 입식 후 20일 간격 분뇨슬러리를 배출하여 돈사내부 악취농도를 평균8ppm(18% 저감)정도로 유지할 수 있음.



- ※ 돈사내부 악취저감 효과 - 비육기간 30일 평균 암모니아 6%▼저감
- 비육기간 60일 평균 암모니아 18%▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	8.4 ± 1.5	10.7 ± 1.6	12.7 ± 2.9
여름	22.6 ± 5.0	20.4 ± 1.6	28.8 ± 1.8
겨울	5.3 ± 1.1	5.7 ± 1.6	

1-3. 돈사 내 상부 공간 약취 및 분진 관리 ☞ 안개분무 시스템 설치

- 대부분 양돈장에서는 돈사내부 약취저감 수단으로 안개분무시설을 주로 이용하고 있으며 분무액으로 사용하는 약품은 천연물질, 탈취제, 미생물제제 등이 있고, 약품 첨가 없이 물만 분무하는 농가도 있음.
- 천연물질인 목초액은 중화효과, 차아염소산은 살균효과, 탈취제는 산화효과, 미생물 제제는 탈취효과 등 각각 약취물질 저감효과를 가지고 있으며, 이와 같은 분무액을 분무하여 돈사내부 약취(암모니아)를 약 26%정도 저감시킬 수 있음.

| 안개분무 시스템 설치 사례 |



※ 돈사내부 약취저감암모니아에 효과 : 평균 26%▼

- 천연물질(목초액) 22%▼
- 탈취제 28%▼
- 미생물제제 26%▼
- 차아염소산 29%▼



| 약취저감 효과에 따른 약취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량 (g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	7.5 ± 1.3	9.6 ± 1.5	11.5 ± 2.6
여름	20.4 ± 4.5	18.4 ± 1.5	26.0 ± 1.6
겨울	4.8 ± 1.0	5.2 ± 1.5	

1-4. 사육밀도에 따른 돈사 내 악취 관리 ☞ **적정 사육밀도 기준 초과 준수**

- 양돈농가에서는 과거부터 한정된 공간에 많은 두수의 돼지를 사육하여 농가의 이익을 높이고자 하는 판단으로 높은 밀도로 밀집사육을 하는 경향이 있음.
- 그러나 밀집사육은 환경적인 위험요소 증가 및 스트레스 유발로 인해 질병발생, 생산성 저하 등 오히려 농가의 이익을 저해하는 요인으로 작용하고 있음.
- 두당 사육면적을 확대할 경우 생산성 향상 뿐 만 아니라 돈사면적당 누적되는 분뇨 슬러리의 양을 감소시켜 돈사내부에서 발생하는 악취발생 농도를 저감시킬 수 있음. 적정 사육밀도 기준을 초과하여 1.0m²/두의 밀도로 사육할 경우 악취(암모니아) 약 9%정도 저감시킬 수 있음.

| 사육밀도 구분 |

구분	적정 사육밀도 미만	적정 사육밀도	적정 사육밀도 초과
돈사면적	(L)15.0m × (W)9m	(L)15.0m × (W)9m	(L)15.0m × (W)9m
사육칸(12칸)	(L)2.5m × (W)4m	(L)2.5m × (W)4m	(L)2.5m × (W)4m
사육면적	120m ²	120m ²	120m ²
사육두수(비율)	167두(116%)	144두(100%)	121두(84%)
사육밀도	0.72m ² /두	0.83m ² /두	1.0m ² /두

※ 돈사내부 악취저감 효과

- 비육돈 사육밀도 0.7m²/두 → 0.8m²/두 암모니아 6%▼저감
- 비육돈 사육밀도 0.8m²/두 → 1.0m²/두 암모니아 9%▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

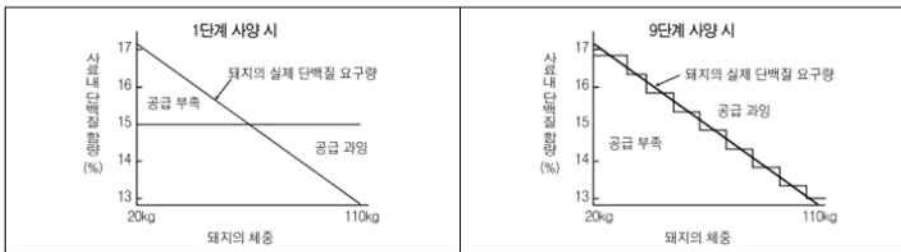
구분	NH ₃ 일일 두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	9.3 ± 1.6	11.8 ± 1.8	14.1 ± 3.2
여름	25.1 ± 5.6	22.7 ± 1.8	31.9 ± 2.0
겨울	5.9 ± 1.3	6.4 ± 1.8	-

1-5. 사양단계별 사료급여에 따른 분뇨 악취 관리 ☞ 비육돈 전용사료 급여

- 돼지에게 급여된 사료의 단백질 함량에 비해 소화율이 낮으면 돼지의 체내에 단백질이 효율적으로 축적되지 못하고 분뇨를 통해 배설되어 악취발생의 원인 물질로 작용하게 됨.
- 따라서 사료 내 단백질 함량을 적정하게 조절하여 악취원인 물질을 줄일 수 있으며, 육성돈에서 비육돈으로 넘어가는 시기에 사료내 단백질 함량을 17%에서 15%로 조절하여 돈사내부 악취(암모니아)를 약 25%정도 저감시킬 수 있음.

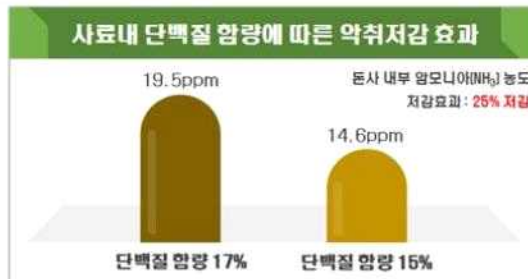
| 육성 및 비육돈에 대한 단계별 사료성분(단백질 함량) 비교 |

구분	저단백	권장	관행
비육돈 사료내 단백질수준(%)	15%	17.5%	20%



※ 돈사내부 악취저감 효과

사료내 단백질 함량 17% → 15% 조정 : 암모니아 25%▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)	
	60~80kg	80~115kg
봄/가을	9.7 ± 1.5	11.6 ± 2.6
여름	18.6 ± 1.5	26.3 ± 1.6
겨울	5.2 ± 1.5	

1-6. 사료 첨가제 이용에 따른 분뇨 악취 관리 ☞ 사료내 환경개선제 첨가

- 사료에 첨가하는 효소나 생균 등 미생물과 관련된 악취저감 제제는 돼지 장내 미생물의 성장이나 장내 균총에 직접적으로 관여하여 소화에 유리한 미생물을 증가시킴으로써 사료가 잘 소화될 수 있도록 함.
- 환경개선제 중 미생물제제는 균체를 포함하는 미생물의 배양물로 사료효율 증가 및 장내 균총을 변화시키고, 무기화학제는 무기태 광물질로 사료효율을 높여 분뇨로 배출되는 유기물과 질소 함량을 감소시키며, 효소제는 미생물의 발효산물로 사료효율 증가 및 장내 균총을 변화시키는 역할을 함.
- 돼지의 체내에서 사료가 잘 소화될수록 유기물과 질소의 함량이 낮아져 분변 내의 악취유발물질인 질소화합물이 감소하고, 악취유용미생물의 균총을 높여 분뇨내 악취물질을 저감시킬 수 있음. 따라서 사료에 환경개선제를 첨가하여 돈사내부에서 발생하는 악취(암모니아)를 약 47%정도 저감시킬 수 있음.

※ 돈사내부 악취저감(암모니아) 효과 : 평균 47%▼

- 미생물제제 45%▼저감
- 무기화학제 51%▼저감
- 효소제 45%▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량 (g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	5.4 ± 1.0	6.9 ± 1.1	8.2 ± 1.9
여름	14.6 ± 3.2	13.2 ± 1.1	18.6 ± 1.2
겨울	3.4 ± 0.7	3.7 ± 1.1	

1-7. 사료급여 방식에 따른 분뇨 악취 및 돈사 분진 관리 **액상사료급여 시스템**

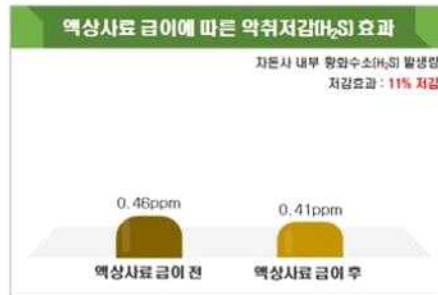
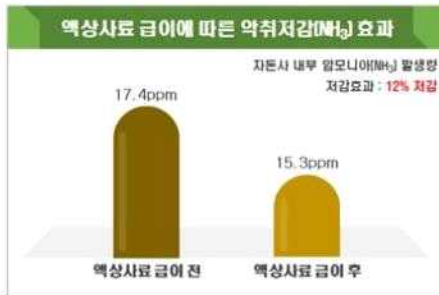
- 액상사료급여 시스템은 사료와 물을 혼합하여 제조한 액상사료를 급이하는 시설로 사료 배출 및 섭취 시 발생하는 분진의 양을 최소화시켜 돈사내부 환경을 쾌적하게 만드는 시스템임.
- 돈사에서 발생하는 분진은 악취와 결합하여 악취를 확산시키는 매개체 역할을 함. 따라서 분진 발생을 줄임으로써 돈사내 상부공간의 악취를 저감(암모니아 12%, 황화수소 11% 저감)시키고, 돈사내부에 먼지가 쌓여 오염되는 것을 방지할 수 있음.

| 액상사료급여 시스템 설치 사례 |



※ 돈사내부 악취저감 효과

- 암모니아 12%▼저감
- 황화수소 11%▼저감



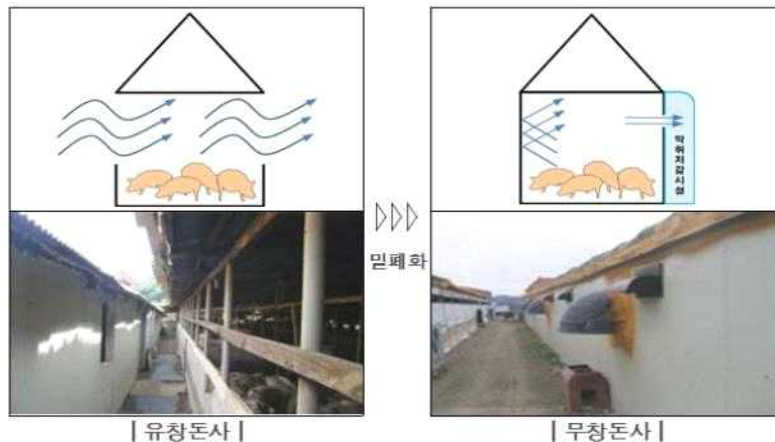
| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)			H ₂ S 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	9.0 ± 1.6	11.4 ± 1.8	13.6 ± 3.1	0.4 ± 0.2	1.1 ± 0.1	2.0 ± 0.1
여름	24.3 ± 5.4	21.9 ± 1.8	30.9 ± 1.9	1.2 ± 0.4	1.5 ± 0.1	1.2 ± 0.1
겨울	5.7 ± 1.2	6.2 ± 1.8		0.9 ± 0.3	0.2 ± 0.2	

2. 돈사외부 악취물질 적정관리 방법

2-1. 돈사형태에 따른 악취물질 관리 ☞ 돈사 밀폐화(무창돈사)

- 개방형 돈사(유창돈사)는 돈사에서 발생하는 악취물질이 그대로 농장 밖으로 확산되어 민원을 유발하는 원인으로 작용할 수 있음.
- 유창돈사의 경우 7월부터 온도가 높아짐에 따라 돈사내부에서 발생하는 악취농도가 점점 증가해야 하나 원치(창문)를 개방함으로써 외부로 악취가 유출되어 오히려 돈사 내부 악취농도는 낮아지는 경향을 보임.
- 개방형 돈사를 밀폐시켜 무창돈사로 전환하고, 악취저감 시설을 설치하여 돈사 내부에서 외부로 확산되는 악취를 저감시킬 수 있음.



※ 돈사외부 악취저감 효과

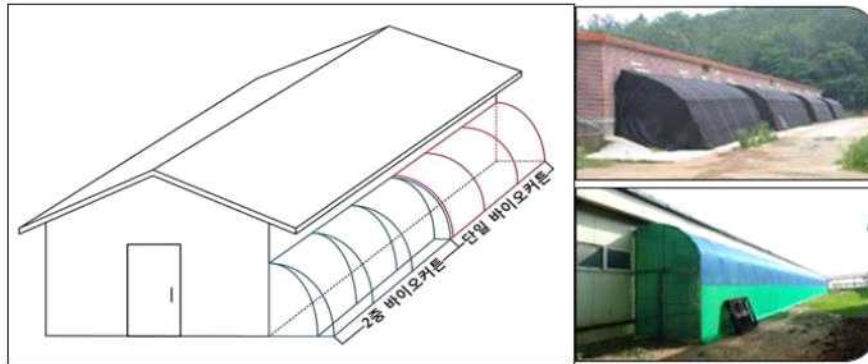
돈사 밀폐화(무창돈사)를 통해 돈사외부로 확산되는 악취를 저감할 수 있음.



2-2. 돈사외부 환기철큰의 약취 및 분진 확산 관리(1) ⇐ 바이오커튼 시설 설치

- 양돈장에서 돈사외부 약취저감 시설로 주로 이용하고 있는 수단은 바이오커튼으로 돈사외벽에 바이오커튼을 설치하여 돈사내부에서 외부로 유출되는 약취 전달 매개체인 분진의 양을 저감시켜 약취의 확산을 방지하고, 시설내부에서는 오존수, 미생물제, 이산화염소 등을 분무하여 약취(암모니아)를 약 99%까지 저감시킬 수 있음.

| 바이오커튼 시설 설치 사례 |



※ 돈사외부 약취저감(암모니아) 효과

- 단일 바이오커튼+오존수 93%▼저감, • 2중 바이오커튼+오존수 99%▼저감



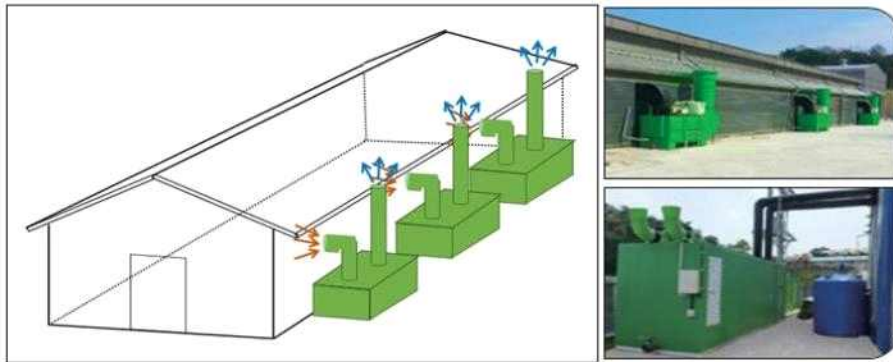
| 약취저감 효과에 따른 약취 배출량 |

구분	단일 바이오커튼 + 오존수 약취저감 효과 NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)			2중 바이오커튼 + 오존수 약취저감 효과 NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	0.7 ± 0.1	0.9 ± 0.1	1.1 ± 0.2	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
여름	1.9 ± 0.4	1.7 ± 0.1	2.5 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.0
겨울	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	

2-3. 돈사외부 환기현의 악취 및 분진 관리(2) ⇐ **바이오필터 시설 설치**

- 바이오필터는 돈사 측면 또는 피트 배기구로 배출되는 악취와 분진의 양을 감소시키는 장치이며, 시설내부에는 미생물의 생물학적 작용 또는 화학적 작용을 통해 악취물질을 흡착·분해하는 담체 또는 분무장치가 내장되어 있어 돈사내부에서 외부로 배출되는 악취(암모니아)를 약 32%정도 저감시킬 수 있음.

| 바이오필터 설치 사례 |



※ 돈사외부 악취저감암모니아에 효과 : 평균 32%▼

- 미생물제제 26%▼
- 차아염소산나트륨 40%▼
- 과산화물 31%▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	NH ₃ 일일두당배출량(g/head/day)		
	30~60kg	60~80kg	80~115kg
봄/가을	6.9 ± 1.2	8.8 ± 1.4	10.5 ± 2.4
여름	18.8 ± 4.1	16.9 ± 1.4	23.9 ± 1.5
겨울	4.4 ± 1.0	4.8 ± 1.4	

3. 분뇨처리시설 악취물질 적정관리 방법

3-1. 개방형 분뇨처리시설(고액분리, 퇴·액비) 악취 관리 ⇨ 분뇨처리시설 밀폐화

- 개방형 퇴비화시설과 액비화시설, 전처리(고액분리)시설 등 분뇨처리시설에서 발생하는 악취물질은 그대로 농장외부로 확산되어 민원을 유발하는 원인으로 작용할 수 있음.
- 개방형 분뇨처리시설을 각각 밀폐형으로 개선하여 분뇨처리과정에서 발생하는 악취가 농장외부로 확산되는 것을 방지할 수 있음.
- 밀폐화를 통해 외부로 확산되는 악취를 저감시킬 수는 있으나 밀폐된 분뇨처리 시설 내부 악취를 저감할 수 있는 악취저감시설 설치가 필수적으로 동반되어야 함.



| 퇴비화시설 밀폐화 |

| 액비화시설 밀폐화 |

| 고액분리시설 밀폐화 |

※ 고액분리 및 퇴·액비화시설 외부 악취저감(암모니아) 효과

- 퇴비화시설 밀폐화 69%▼저감
- 액비화시설 밀폐화 89%▼저감,
- 고액분리시설 밀폐화 95%▼저감,



3-2. 밀폐형 분뇨처리시설 시설 악취 관리 ☞ 탈취탑(습식세정식) 설치

- 퇴비화 및 액비화 시설을 밀폐형으로 개선한 이후에는 시설내부의 악취를 포집하여 처리할 수 있는 악취저감 시설이 추가로 필요함.
- 퇴·액비화 시설에서 분뇨를 처리할 때 발생하는 악취는 매우 고농도이며, 따라서 고농도의 악취를 처리할 수 있는 시설을 설치해야 함. 악취저감 시설 중 습식 세정식(황산수용액) 탈취탑이 고농도의 악취를 처리하는데 가장 효과적임.
- 탈취탑(습식세정식)을 설치하여 퇴·액비화 시설의 악취를 포집 후 처리함으로써 농장외부로 확산되는 악취를 저감(암모니아 70%, 황화수소 25% 저감)할 수 있음.

| 퇴·액비화시설 탈취탑(습식세정식) 설치 사례 |



※ 퇴·액비화시설 외부 악취저감 효과

• 암모니아 70%▼저감 • 황화수소 25%▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	일일 NH ₃ 배출량 (kg/t/day)	일일 H ₂ S배출량 (g/100t/day)
퇴비화 시설	0.15 ± 0.09	31.05 ± 16.65
액비화 시설	2.76 ± 1.59	24.90 ± 16.95

3) 농촌진흥청. 양돈농가 환경개선 및 적정관리를 통한 냄새저감 효과 구명. 2017

3-3. 퇴비화시설 내부 악취 및 분진 관리 ⇨ 안개분무시설 설치

- 퇴비화시설을 밀폐화하여 농장외부로 악취가 확산되는 양을 줄일 수는 있으나 실질적으로 악취를 저감시키는 방법은 아님. 따라서 밀폐된 퇴비화시설 내부에 그대로 남아 있는 악취를 저감시킬 수 있는 시설을 추가로 설치해 주어야 함.
- 악취저감 시설로 퇴비화시설(밀폐형) 내부에 안개분무시설을 설치하여 퇴비화 과정에서 발생하는 악취를 저감(암모니아 83%, 황화수소 85% 저감)할 수 있음.

| 퇴비화시설 안개분무시설 설치 사례 |



※ 퇴비화시설 내부 악취저감 효과⁴⁾

- 암모니아 83% ▼저감
- 황화수소 85% ▼저감



| 악취저감 효과에 따른 악취 배출량 |

구분	일일 NH ₃ 배출량 (kg/t/day)	일일 H ₂ S배출량 (g/100t/day)
퇴비화 시설	0.09 ± 0.05	6.21 ± 3.33

4) 연암대학교, 악취저감을 위한 측사 등 시설개선 및 관리기준, 2017

4. 양돈장 주요 약취물질 적정관리 기준

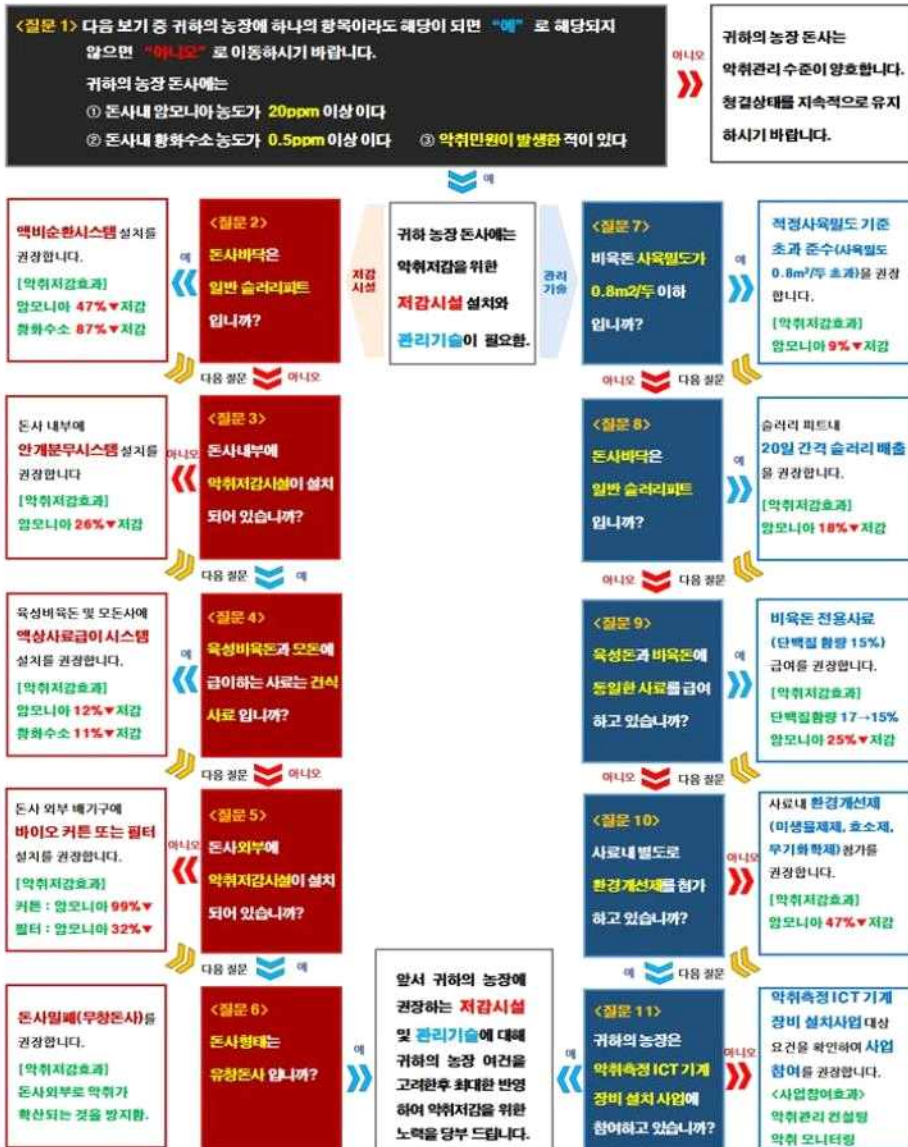
4-1. 양돈농가 약취관리 자가진단 테스트

- 약취관리 자가진단을 통해 귀하의 농장에서 약취관리가 필요한 부분을 체크해 보시고, 그에 대한 관리방법을 확인하시기 바랍니다. 자가진단 테스트는 돈사와 분뇨처리장 2가지 유형으로 구분되어 있으며, 각각 시설과 관리측면에서 약취관리가 필요한 부분을 확인할 수 있습니다.
- 자가진단 방법은 우선 첫 번째 질문에 따라 귀하의 돈사 또는 분뇨처리장에 약취관리가 필요한지 여부를 확인하시기 바랍니다. 약취관리가 필요한 경우에는 다음 질문 순서에 따라 “예” 또는 “아니오”, “다음질문”으로 이동하시어 귀하의 돈사 또는 분뇨처리장에 약취관리가 필요한 부분을 체크하시고 그에 대한 약취저감 시설 및 관리기술을 확인하시기 바랍니다.
- 돈사 자가진단은 총 11가지 문항으로 구성되어 있습니다. 첫 번째 질문은 돈사내부 약취발생 농도, 민원발생 여부를 통해 약취관리 필요여부를 확인할 수 있고, 다음 2~6번 질문은 돈사 및 바닥구조 형태, 약취저감시설 유무, 사료유형에 관한 질문으로 약취저감시설의 필요여부를 확인할 수 있으며, 7~11번 질문은 돈사바닥구조 형태, 사육밀도, 사료유형 및 첨가제이용 여부에 관한 질문으로 관리기술의 필요 여부를 확인할 수 있습니다.
- 분뇨처리시설 자가진단은 총 9가지 문항으로 구성되어 있습니다. 첫 번째 질문은 개방형태 처리시설 유무, 약취저감시설 유무를 통해 약취관리 필요여부를 확인할 수 있고, 다음 2~5번 질문은 고액분리시설, 퇴·액비화시설, 분뇨집수조 및 이송라인의 개방 여부에 관한 질문으로 시설 밀폐화의 필요여부를 확인할 수 있으며, 6~9번 질문은 약취저감시설 유무에 관한 질문으로 약취저감시설의 필요여부를 확인할 수 있습니다.

4-1-1 돈사 악취관리 자가진단 테스트

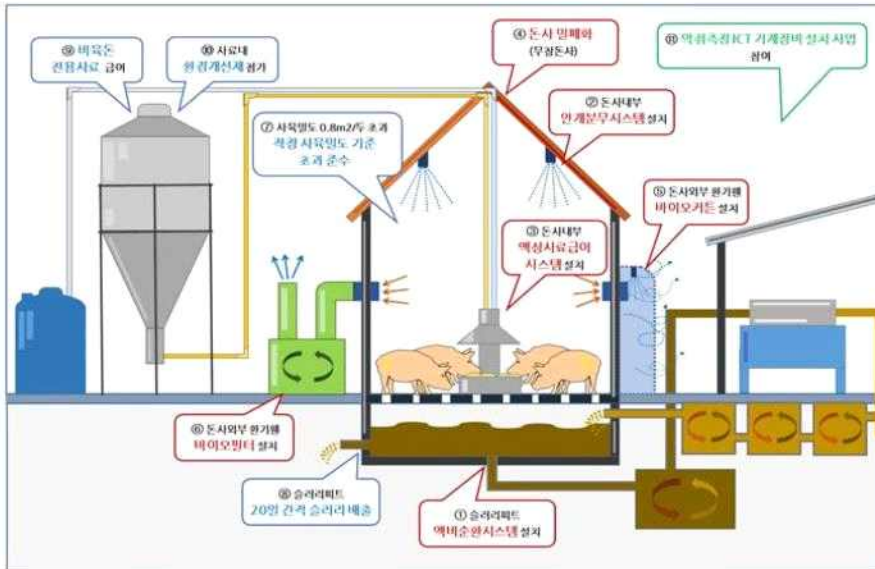
- 돈사 악취관리 자가진단 테스트입니다. 질문 순서에 따라 “예” 또는 “아니오”, “다음질문”으로 이동하시어 귀하 농장의 돈사에 악취저감이 필요한 부분을 체크하시고, 그에 대한 악취저감 시설 및 관리기술을 확인하시기 바랍니다.

[돈사 악취관리 자가진단 테스트]



- 자가진단 테스트에서 권장하는 돈사 내·외부 악취저감 시설과 관리기술을 적용하여 “돈사 악취물질 적정관리 모델”을 구성하면 아래와 같음.

[돈사 악취물질 적정관리 모델]



구분		악취저감 시설개요	악취저감 효과
악취저감시설	돈사 내부	① 액비순환시스템	- 슬러리피트 액비재순환을 통해 돈사내부 악취저감 암모니아 47%▼저감 항화수소 87%▼저감
		② 안개분무시스템	- 돈사내부 악취저감제 분무로 돈사내부 발생 악취저감 암모니아 26%▼저감
		③ 액상급이시스템	- 자돈 및 모돈 액상사료 급이를 통해 분진발생을 줄여 악취물질 확산 최소화 암모니아 12%▼저감 항화수소 11%▼저감
	돈사 외부	④ 돈사밀폐(무창돈사)	- 돈사 밀폐화를 통해 돈사내부에서 발생한 악취가 외부로 확산되지 않도록 함. 돈사외부 악취확산 방지효과
		⑤ 바이오커튼	- 돈사외부 바이오커튼 설치를 통해 악취 및 먼지를 제어하여 악취저감 암모니아 93~99%▼저감
		⑥ 바이오필터	- 돈사외부 바이오필터 설치를 통해 악취 및 먼지를 제어하여 악취저감 암모니아 32%▼저감
악취저감기술	⑦ 적정사육밀도 초과 준수	- 1.0m ² /두 이상 저밀도 사육을 통해 돈사내부 단위면적당 발생 악취저감 (0.8m ² /두→1.0m ² /두) 암모니아 9%▼저감	
	⑧ 20일 간격 슬러리 배출	- 슬러리피트내 슬러리를 주기적(20일 간격)으로 배출하여 돈사내부 발생 악취저감 암모니아 18%▼저감	
	⑨ 비육돈 전용사료 급여	- 비육돈 전용사료 급여(사료내 단백질 함량 조절)를 통해 분뇨에서 발생하는 악취저감 (단백질함량 17~15%) 암모니아 25%▼저감	
	⑩ 사료내 환경개선제 첨가	- 사료내 환경개선제 첨가를 통해 분뇨에서 발생하는 악취저감 암모니아 47%▼저감	
악취관리유지	⑪ 악취측정 ICT 기계 장비 설치사업	- 악취 실시간 모니터링 및 컨설팅을 통한 악취관리 지속적인 악취관리	

4-1-2 분뇨처리시설 약취관리 자가진단 테스트

· 분뇨처리시설 약취관리 자가진단 테스트입니다. 질문 순서에 따라 “예” 또는 “아니오”, “다음질문”으로 이동하시어 귀하 농장의 분뇨처리시설에 약취저감이 필요한 부분을 체크하시고, 그에 대한 약취저감 시설 및 관리기술을 확인하시기 바랍니다.

[분뇨처리시설 약취관리 자가진단 테스트]



VI 약취저감 시설 투자 및 운영비

- 다음은 앞서 제시한 약취물질 적정관리를 위한 약취저감 시설들에 대한 공사비 및 운영비로 업체 및 농가여건에 따라 변동될 수 있으므로 의사결정시 참고 자료로 활용하시기 바랍니다.

[약취저감 시설 투자 및 운영비]

(단위 : 천원)

구분	업체	공사비용				일반 관리비	이윤	공급 가액	부가 가치세	기타 (설계비 등)	총 공사비	운영비 (월)	기타
		재료	노무	경비	소계								
바이오카톤+ 안개분무 (60m 1동/1단)	A	30,939	10,182	6,910	48,031	2,882	2,996	53,900	53,900	-	59,299	71	이온수 제조기 축산악취계거기 (26,542천원 포함)
바이오카톤	B	7,514	4,033	462	12,009	721	730	13,459	1,346	200	15,005	-	
안개분무		8,644	3,971	505	13,119	787	737	14,643	1,464	200	16,308	80	
바이오카톤+ 안개분무 (100m 1동/1단)		16,158	8,004	966	25,128	1,508	1,467	28,102	2,810	400	31,313	80	
바이오필터 (환기권 50파이 17)	C	1,388	841	101	2,330	150	160	2,640	264	-	294	70	
약비순환시스템 (30톤/일)	D	143,154	25,400	7,257	175,811	10,549	4,320	190,680	19,068	-	209,748	2,845	약비순환시스템 (30톤/일)
약비순환시스템 (20톤/일)	E	341,263				-	34,126	377,261	37,726	-	413,115	1,101	
약비순환시스템 (10톤/일)	F	74,460	12,000	3,000	89,460	4,473	1,947	95,880	9,588	-	105,468	913	건축/특목계의 왕심분리기 제외
퇴비사일페 (96평)	G	11,756	5,728	1,672	19,156	-	-	-	-	-	19,156	-	C/S 100T
퇴비사일페 (100평)	H	17,000	20,000	13,000	50,000	-	-	-	-	-	50,000	-	C/S 0.5T PE강판 +아연코팅피프
약비저장조 일페 (400톤)	I	4,000				-	-	-	400	-	4,400	-	탱크형저장조 격용 스테인리스

* 상기 재원은 시공사, 자원, 기술, 인건비, 설치 위치 및 용량 등에 따라 변화가능(참고용으로 활용)

* 운영비의 경우 전기료, 약품 등 값을 포함(전기료 : 전기사용량 × 농사용 전력 4계절 요금 평균/41.2원/kwh)

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분	내용
<p>목표</p>	<p><축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사 내·외부 적용 악취저감 기술 개발> ○ 돈사 내·외부에 활용할 수 있는 기존 또는 신기술 개발 및 원형규모 테스트베드 검증을 통한 악취저감 실증 시스템 효능평가와 악취저감 기술별 경제성 분석</p> <p><축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가> ○ 축산악취물질 선정 및 무창돈사의 분뇨수거방식, 분뇨처리 방법에 따른 악취물질 배출계수 DB화</p> <p><가축분뇨자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감 기술 개발> ○ 가축분뇨 자원화 방법에 따른 악취저감 방법 및 기술, 악취저감 개선 평가 프로그램의 지표개발과 운영평가 및 분석평가 도출</p> <p><축산농장 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리 매뉴얼 제작> ○ 축산농장의 악취 적정관리 매뉴얼 제작</p>
<p>세부 목표</p>	<p><축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사 내·외부 적용 악취저감 기술 개발> ○ 돈사 내외부에 활용할 수 있는 기존 또는 신기술 검증 및 제시 ○ 광역축산악취개선사업 대상농가 설치된 시설의 악취저감 실증 시스템 효능 평가 (악취방지법 허용기준 이내) ○ 현장 테스트 베드 검증을 통한 악취저감 기술별(돈사 내·외부) 경제성(생산성, 운영비 등) 분석</p> <p><축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가> ○ 무창돈사의 악취발생 실태조사(계절적 요인 고려) 및 악취물질 배출계수 제시 ○ 분뇨수거방식(슬러리, 액비순환식)에 따른 악취발생 실태조사(계절적 요인 고려) 및 악취물질 배출계수 제시 ○ 분뇨처리방법(퇴비화, 액비화) 등에 따른 악취발생 실태조사(계절적 요인 고려) 및 악취물질 배출계수 제시</p> <p><가축분뇨자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감 기술 개발> ○ 분뇨의 수거, 저장 및 고액분리 등 전처리 단계의 분뇨 성상(고상, 액상)에 따른 악취저감 방법 및 기술 평가 ○ 고상퇴비화 시설 대상의 분뇨처리공정의 단계별 악취저감 방법 및 기술평가 ○ 액상발효화 시설 대상의 분뇨처리공정의 단계별 악취저감 방법 및 기술평가 ○ 농가단위의 가축분뇨처리와 외부 위탁처리에 대한 악취저감 방법 및 기술평가 ○ 광역축산 악취개선 사업 대상 농가를 활용한 원형규모 현장 테스트 베드 검증</p>

구분	내용
	<p><축산농장 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리 매뉴얼 제작></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 축사 및 분뇨처리장 유형별 주요 축산악취물질의 관리기준안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 축사 및 분뇨처리장의 악취발생 요인별 현장자료 수집 - 축사 및 분뇨처리장의 악취발생 요인별 기여도 평가 - 축사 및 분뇨처리장의 주요 축산악취물질의 관리기준안 개발 - 축사 및 분뇨처리장 적용 악취저감 방법의 유지관리 방안 제시 ○ 축사 및 분뇨처리장의 경제적인 악취 저감 모델 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 가축 사육밀도, 분뇨수거방식, 환기량, 입자성물질 제거 방식, 사료급여방식, 분뇨처리방식(위탁처리 방법) 등 적용 기술의 경제성 분석을 통한 경제적인 권장 모델 제시

3-2. 목표 달성여부

구분	내용	달성 여부
목표	<p><축사형태와 분뇨수거방식 유형을 고려한 축사 내·외부 적용 악취저감 기술 개발></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 돈사 내·외부에 활용할 수 있는 기존 또는 신기술 개발 및 원형규모 테스트베드 검증을 통한 악취저감 실증 시스템 효능평가와 악취저감 기술별 경제성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성과목표 : 100% - 기존 돈사에서 활용하는 악취저감기술을 분석(경제성, 효능)하고 ICT 장비를 결합하여 악취를 효과적으로 저감할 수 있는 신기술 제시
	<p><축산농가 악취발생 정밀 실태조사/주요 악취물질 배출량 평가></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 축산악취물질 선정 및 무창돈사의 분뇨수거방식, 분뇨처리 방법에 따른 악취물질 배출계수 DB화 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성과목표 : 100% - 축산악취 중 측정이 용이하고, 상관성이 많은 암모니아와 황화수소를 악취물질로 선정하고 계절별, 시설별, 악취물질 배출계수를 측정하여 DB화
	<p><가축분뇨자원화 방법에 따른 분뇨처리장 적용 악취저감 기술 개발></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨 자원화 방법에 따른 악취저감 방법 및 기술, 악취저감 개선 평가 프로그램의 지표 개발과 운영평가 및 분석평가 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성과목표 : 100% - 사례조사를 통한 자원화 방법에 따른 악취관리 평가지표를 도출하고 악취관리를 위한 매뉴얼 제시
	<p><축산농장 등의 하드웨어·소프트웨어별 축산악취 적정 관리 매뉴얼 제작></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 축산농장의 악취 적정관리 매뉴얼 제작 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성과목표 : 100% - 악취발생요인 및 현장적용을 검토한 악취관리 매뉴얼 제작 제시

3-3. 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 국내외 활용되고 있는 축산악취저감기술을 조사하여 제시하고, 주로 국내에 사용되는 악취저감 기술에 대한 경제성 및 악취저감 효과를 평가함으로써 효과적인 악취저감기술을 제시하였으며, ICT 장비 등과의 연계성을 검토함으로써 축산업의 4차 산업화에 대한 기초자료를 제시
 - 향후 4차 산업과 연계된 악취저감기술에 대한 기초 자료를 제시함으로써 향후 축산업 4차 산업화 및 기술개발 연구에 기여

- 축사 현대 및 분뇨수거방식, 분뇨처리 방법 등을 고려한 악취배출 기준 수립 및 설치된 악취저감시설의 효과검증을 위한 기준 제시를 위한 표준화 추진 필요
 - 본 연구에서 양돈농가에서 주로 발생하고 악취기여도가 높은 암모니아와 황화수소를 대상으로 계절별, 사양시기별, 축사형태에 따라 배출되는 계수를 DB화 악취배출계수 및 악취물질 기준으로 대한 기초자료를 제시하였으나, 축종별 발생하는 악취 물질 및 배출량에 대한 명확한 제시가 필요하며, 이를 위해 좀 더 많은 연구 추진 필요
 - 국내의 산업현장에 맞는 양돈 배출 계수 및 악취배출량에 대한 표준 제시를 위한 연구 용역이 추가로 필요하며, 양돈농가 악취배출 기준 설정시 기초자료로 활용

- 개발된 가축분뇨 관련 악취저감 개선 평가 프로그램의 지표개발 등을 활용할 경우 축사 주변 지역에 대한 악취저감 정도 및 효과를 객관적으로 확인할 수 있는 후속 연구 필요

4. 연구결과의 활용 계획 등

- 현행 보급되어 있는 악취저감기술 장·단점 및 설치비용, 운영비용 등을 제시함으로써 축산 농가에서 선택할 수 있는 악취저감기술의 정보 제공
 - 향후 축산농가에서 설치할 시설·장비에 대한 적정 사업비 산정 등에 활용
- ICT 장비 등을 연계함으로써 축산농가에서 발생하는 악취발생정도를 수치화함으로써 객관적인 발생정도를 제시하고, 주요 악취발생 시간 등을 고려한 악취저감 시설 운용으로 악취저감 효과 극대화 및 시설 운영비 절감 효과 기대
 - ICT 장비를 설치함으로써 악취저감장비·시설의 고장 여부 및 잘못된 사용 방법에 대한 신속히 자가진단이 가능
- ICT 장비를 설치한 농가를 대상으로 악취배출정도를 측정하고, 산정된 악취물질 DB를 바탕으로 양돈농가 적정 악취관리를 수치화하여 제시(암모니아 및 황화수소 농도 등)
- 악취저감 개선 평가 프로그램 등을 활용함으로써 악취민원 등이 발생하는 농가에 대한 신속·정확한 진단이 가능하고, 진단된 원인을 바탕으로 악취를 제거할 수 있는 기술적인 방안을 매뉴얼화 하여 제시함으로써 농가 자가 진단 추진
- 악취저감매뉴얼을 농가에 보급함으로써 축산농가를 대상으로 한 기술 교육 및 홍보효과 기대

붙임. 참고문헌

- Aarnik, AJA, et.al, "Nutrition Affects Odor Emission from Pig Manure" The International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture". ASABE paper: 701P0907cd (2007).
- Aarnink, A.J.A., Swierstra, D., van den Berg, A.J., Speelman, L. 1997. Effect of type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66.2, 93-102.
- Aarnink, A.J.A., Keen, A., Metz, J.H.M., Speelman, L., Verstegen, M.W.A., 1995. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research* 62, 105 - 116.
- Aarnink, A.J.A., van der Berg, A.J., Keen, A., Hoeksman, P., Verstegen, M.W.A., 1996. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behavior of growing pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research* 64, 299 - 310.
- Banhazi, T, "Oil spraying systems for piggeries to control dust". AAPV Conference AVA, Australia, pp 76~80. (2005)
- Bicudo, J, et.al., "A two-year study of the effectiveness of geotextile covers to reduce odor and gas emissions from manure storages". ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress, Chicago,USA. ASAE paper: 02-4195. (2002).
- Bicudo, JR, Clanton, CJ, Schmidt, D.R, Powers, W, Jacobson, LD and Tengman, CL, "Geotextile covers to reduce odor and gas emissions from swine manure storage ponds", *Appl. Engi. Agri.*, 20(1) pp. 65~75. (2004).
- Blanes~Vidal, V, Hansen, MN and Sousa, P, "Reduction of odor and odorant emissions from slurry stores by means of straw covers", *J. of Environ. Qul.*, 38(4) pp 1518~1527.(2009).
- Bottcher, R.W., 2001. An environmental nuisance: odor concentrated and transported by dust. *Chemical Senses* 26, 327 - 331.
- Botermans J, Gustafsson, G, Jeppsson, KH, Brown, N and Rodhe, L, "Measures to reduce ammonia emissions in pig production: Review". *Landskap trädgård jordbruk: rapportserie, Swedish Insti. of Agri.&Environ. Engi.* pp. 1654~5427. (2010)

- Bottcher, RW, "An environmental nuisance: Odor concentrated and transported by dust". Symp. of Chemical XXI, 26(3) pp. 327~331.(2001).
- Bottcher, RW, et.al., "Comparison of odor control mechanisms for wet pad scrubbing, indoor ozonation, windbreak walls, and biofilters", ASAE Annual International Meeting, Milwaukee ASAE paper. 00~4091. (2000).
- Bottcher, RW, et.al., "Field and model evaluations of windbreak walls for modifying emissions from tunnel ventilated swine buildings", ASAE Annual International Meeting, Orlando, FL. ASAE paper: 984071. (1998).
- Bottcher, RW, et.al., "Field evaluation of a wet pad scrubber for controlling dust and odor emissions". The Animal Waste Management Symposium, Raleigh, NC, ASAE paper: 984071. (1999).
- Brumm, MC, Harmon, JD, Honeyman, MC and Klibenstein, JB, "Hoop structures for grow~finished swine", Midwest Plan Service: AED-41. Ames, Iowa State University. (1997).
- Bullers, S, "Environmental stressors, perceived control, and health: the case of residents near large~scale hog farms in eastern North Carolina". Human Ecology 33, 1 - 16. (2005).
- Chastain, JP, Air Quality and Odor Control from Swine Production Facilities. Confined Animal Manure Managers Program. Chapter 9. Clemson, S.C.: Clemson Univ. Extension (1999). <<http://fliphtml5.com/rwzh/nlsj/basic>> [Accessed November18]
- Childers, JW, Thompson Jr., EL, Harris, DB, Kirchgessner, DA, Clayton, M, Natschke, DF and Phillips, WJ, "Multi~pollutant concentration measurements around a concentrated swine production facility using open~path FTIR spectrometry", Atmos. Environ. 35(11) pp. 1923~1936. (2001).
- Cho, SB, Yang, SH, Lee, JY, Kim, JK, Jeon, JH, Han, MH, Han, DW, Jeong, GH, Wag, JHK, Choi, DY and Hwang, OH, "The comparison of concentration of volatile fatty acids, ammonia, and volatile organic compounds in pig slurry". J. of live. Hous. & environ., 19 (1) pp. 25~32. (2013).
- Cole, D, Todd, L and Wing, S, "Concentrated swine feeding operations and public health: a review of occupational and community health effects", Environ. Heal. Perspec., 1081 (8)

pp. 685 - 699. (2000).

Demmers, T.G.M., Burgess, L.R., Short, J.L., Phillips, V.R., Clark, J.A., Wathes, C.M., 1999. Ammonia emissions from two mechanically ventilated UK livestock buildings. *Atmospheric Environment* 33, 217 - 227.

Eerden, L.J., Harssema, H., Klarenbeek, J.V. 1981. Air from livestock buildings and plants. The relationship between the herd size and the risk of damage to plants growing around intensive cattle units. IPORapport 254, Wageningen, Netherlands.

El-Mashad, HM, Zhang, R, Arteaga, V, Rumsey, T and Mitloehner, FM, "Volatile fatty acids and alcohols production during anaerobic storage of dairy manure". *Trans. ASABE*. 54 pp. 599~607. (2011).

Estelles, F, Melse, RW, Ogink, NWM and Calvet, S, "Evaluation of the NH₃removalefficiencyofanacidpackedbedscrubberusingtwomethods:Acasestudyinapigfacility". *Trans. ASABE*, 54(5) pp. 1905~1912. (2011).

FANGUEIRO, David; HJORTH, Maibritt; GIOELLI, Fabrizio. Acidification of animal slurry - a review. *Journal of environmental management*, 2015, 149: 46-56.

Feddes, J, et.al., "Odour reduction in a swine barn by isolating the dunging area", *Livestock Environment VI: the 6th International Symposium*. ASAE paper: 701P0201. pp: 278~284. (2001).

Filson, H, et.al., "Natural and biological odour control methods for swine earthen manure storage areas", *International conference on air pollution from agricultural operations*, Ames, IA, USA, pp. 371 - 374. (1996).

Gastel, J.P.B.F., Verdoes, N., Voermans, J.A.M., 1995. Processing pig slurry on farm scale to lower the ammonia emission and to reduce the volume of the slurry. In: *Proceedings of the 7th International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes*, Chicago, IL. June 18-20, pp. 599 - 608.

Gay, S.W., Schmidt, D.R., Clanton, C.J., Janni, K.A., Jacobson, L.D., Weisberg, S., 2003. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *Applied Engineering in Agriculture* 19, 347 - 360.

- Godbout, S, Lemay, SP, Duchaine, C, Pelletier F, Larouch, J.P, Belzile, M, Feddes, JJR. "Swine production impact on residential ambient air quality". J of Agromedi., 14(3) pp. 291~298. (2009).
- Hardwick, DC, Agricultural Problems related to odour prevention and control, Odour prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming. Elsevier Applied Science Publishers. pp. 21~26. (1985).
- Hartung, J and Phillips, VR, "Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores". J. of Agri. Engi.Rese., 57, pp. 173 - 189. (1994).
- Hayes, ET, Leek, ABG, Curran, TP, Dodd, VA, Carton, OT, Beattie, VE and O'Doherty, JV, "The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses". Biores. Tech., 91(3) pp. 309~315. (2004).
- Heber, A.J., Duggirala, R.K., Ni, J.Q., Spence, M.L., Haymore, B.L., Adamchuck, V.I., Bundy, D.S., Sutton, A.L., Kelly, D.T., Keener, K.M., 1997. Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. In: Voermans, J.A.M. Monteny, G.R. (Eds.), Proceedings of the International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, vol. 2, Dutch Society of Agricultural Engineering (NVTL), The Netherlands, pp. 449 - 457.
- Heber, AJ, Lim, TT, Ni, JQ and Sutton, AL, "Odor and gas emission from anaerobic treatment of swine manure. Indianapolis, Ind.: Indiana's Value-Added Agricultural Grant Program. (2000b).
- Heber, A.J., Lim, T.T., Ni, J.Q., Kendall, D., Richert, B., Sutton, A.L. 2001. Odor, ammonia and hydrogen sulfide emission factors for growfinishing buildings. Final Report, National Pork Producers Council, Clive, IA.
- Heber, AJ, Ni, JQ, Lim, T.T, Diehl, CA, Sutton, AL, Duggirala, RK, Haymore, BL, Kelly, DT and Adamchuk, VI, "Effect of a manure additive on ammonia emission from swine finishing buildings". Trans. ASAE, 43(6) pp. 1895~1902. (2000a).
- Heber. A. J., 2010. Final Reports of the National Air Emissions Monitoring Study. <http://www.epa.gov/airquality/agmonitoring/data.html>. [Accessed August 2016]
- Hernandez, G, Trabue, S, Sauer, T, Pfeiffer, R and Tyndall, J, "Odor mitigation with tree

- buffers: Swine production case study". *Agri., Ecosys. & Environ.*, 149 pp. 154~163. (2012).
- Hinz, T., Linke, S., 1998. A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings. Part 2: results. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 119 - 129.
- Hobbs, P, Pain, B, Kay, R, Lee, P, "Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein". *J. of Sci. of Fo. & Agri.* 71, 508 - 514. (1996).
- Hoff, SJ, Harmon, JR, Bundy, DS and Zelle, BC, "Source and receptor ammonia and hydrogen sulfide concentrations in communities with and without swine emission sources: Follow~up study". *Appl., Engi. in Agri.*, 25(6) pp. 975~ 986. (2009).
- Hudson, N, Duperouzel, D, Melvin, S, "Assessment of permeable covers for odour reduction in piggery effluent ponds. 1. Laboratory-scale trials", *Biores. Techn.* 97 pp. 2002 - 2014. (2006).
- Jacobson, LD, "Do covers work on lagoons?", *Minnesota Pork Journal* 8(1) pp. 10~2. (1998).
- Jacobson, LD, et al., "Odor and gas reduction from sprinkling soybean oil in a pig nursery", *ASAE Annual International Meeting, Orlando*, pp. 1~9. (1998).
- Jacobson, LD, *Generic environmental impact on animal agriculture: "Literature review for air quality and odor (H)". "Minnesota Environmental Quality Board". 658 Cedar St., St. Paul, MN 55155. 1999.*
- Jo., S.H Kim, KH, Jeon, BH, Lee, MH, Kim, YH, Kim, BW, Cho, SB, Hwang, OH and Bhattacharya, SS, "Odor characterization from barns and slurry treatment facilities at a commercial swine facility in South Korea". *Atmos. Environ.*, 119 pp. 339~347. (2015).
- Kai, P, Pedersen, Jensen, PJE, Hansen, MN and Sommer, SG, "In A whole~farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions". *Europ. J. of Agrono.*, 28(2) pp. 148~154. (2008).
- Kay, RM, and Lee, PA, "Ammonia emission from pig buildings and characteristics of slurry produced by pigs offered low crude protein diets", *Proc. Symp. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Vinkeloord, The Netherlands*. pp. 253 - 259. (1997).

- Keener, KM, Bottcher, RW, Munilla, RD, Parbst, KE and Van-Wicklen, GL, "Field evaluation of an indoor ozonation system for odor control". St. Joseph, MI ASAE paper: 994151. (1999).
- Kim, KY, Ko, HJ, Kim, HT, Kim, YS, Roh, YM, Lee, CM and Kim, CN, "Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives". *Biores. Techno.*, 99(17) pp. 8464~8469. (2008).
- Koerkamp, P.W.G., Metz, J.H.M., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L., White, R.P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Pederson, S., Takai, H., Johnsen, J.O., Wathes, C.M., 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 79 - 95.
- Koziel, J.A., Frana, T.S., Ahn, H., Glanville, T.D., Nguyen, L.T., van Leeuwen, J.H. 2017. Efficacy of NH₃ as a secondary barrier treatment for inactivation of *Salmonella* Typhimurium and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in digestate of animal carcasses: Proof-of-concept. *PLoS ONE*, 12.
- Kroodsmas, W, "Separation as a method of manure handling and odors reduction in pig buildings", *Odor Prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming*, Elsevier Applied Science Publisher London, pp. 213~221. (1985).
- Le, PD, Aarnink, AJA, Ogink, NWM, Becker, PM and Verstegen, MWA, "Odour from animal production: its relation to diet. *Nutri. Res. Rev.*, 18(1) pp. 3~30. (2005).
- Lee, MG and Cha, GC, "Valuable Organic Liquid Fertilizer Manufacturing through TAO Processes for Swine Manure Treatment", ASAE Annual International Meeting. Nevada, USA , ASAE paper : 032253. (2003).
- Lee, MG and Lee, WI, "Continuous Treatment of Piggery Slurry using the Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO) System" (In Korean), *J. of Live. Hous.& Environ.*, 6(3) pp.169~174. (2000).
- Lee, MG and Lee, WI, "Deodorization of Swine Waste by Aeration" (In Korean). *J. of Environ. Sci.*, 2(1) pp. 66~76. (1996).

- Leek, AGB, Callan, JJ, Henry, RW and O' Doherty, JV, "The application of low crude protein wheat-soybean diets to growing and finishing pigs. 2: The effects on nutrient digestibility, nitrogen excretion, faecal volatile fatty acid concentration and ammonia emission from boars". *Irish J. of Agri., Fo. Rese.*, 44 pp. 247~260. (2005).
- Lemay, SP, et.al., "Optimization of a sprinkling system using undiluted canola oil for dust control", *2nd International Conference of Air Pollution from Agricultural Operations*, Des Moines, Iowa. pp: 337~344. 9~11 October. (2000).
- Lenis, NP, "Lower nitrogen excretion in pig husbandry by feeding: Current and future possibilities. In *Proceedings of First Intl. Symp. Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*". Wageningen, The Netherlands: EAAP. pp. 61~70. (1993).
- Li, W, Powers, W and Hill, GM, "Feeding distillers dried grains with soluble and organic trace mineral source to swine and the resulting effect on gaseous emission". *J. of Ani. Sci.*, 089(10) pp. 3286~3299. (2011).
- Lim TT, Heber, AJ, Ni, JQ, Sutton, AL and Kelly, DT, "Characteristics and emission rates of odor from commercial swine nurseries". *Trans. ASABE* 44(5) pp. 1275~1282. (2001).
- Lim, TT, Heber, AJ and Ni, JQ, "Odor and gas emissions from anaerobic treatment of swine waste". *St. Joseph, Mich. ASABE paper: 004081*. (2000).
- Lim, TT, Heber, AJ, Ni, JO, Sutton, AL and Shao, P, "Odor and gas release from anaerobic treatment lagoons for swine manure". *J. of Environ. Qua.*, 32(2) pp. 406~416. (2003).
- Lim, TT, Heber, AJ, Ni, JQ, Kendall, DC and Richert, BT, "Effects of manure removal strategies on odor and gas emissions from swine finishing". *Trans. ASAE*, 47(6) pp. 2041~2050. (2004).
- Lin, XJ, Barrington, S, Nicell, J, Choiniere, D and Vezina, A, "Influence of windbreaks on livestock odour dispersion plume in the field". *Agri., Ecosys. & Environ.*, 116 pp. 263~272. (2006).
- Liu, Z, Powers, W and Mukhtar, S, "A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities". *American Soci. of Agri. and Bio. Engi.*, 30(3) pp. 477~492. (2014).

- Liu, Z, Powers, W, Murphy, J and Maghirang, R, "Ammonia and hydrogen sulfide emissions from swine production facilities in North America: A meta-analysis". , 92(4), 1~10. (2013).
- Mackie, RI, Stroot, PG and Varel, VH, "Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste". , 76 pp. 1331~1342. (1998).
- McCrary, D.F and Hobbs, PJ, "Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review". J. of Environ. Qul., 30(2) pp. 345~355. (2001).
- McGahan, EJ, Nicholas, PJ, Watts, PJ, Galvin, G, Lowe, S, Stepnuk, LM and Casey, KD, "Tong Park pink pond odor research study, Toowoomba, Australia: FSA Environmental. Final report APL Project No. 1628. (2001).
- Melse, RW and Ogink, NWM, "Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on~farm research in the Netherlands". Trans. ASABE, 48(6) pp. 2303~2313. (2005).
- Meyer, DJ and Converse, JC, "Controlling swine manure odors using artificial floating scums". Trans. ASABE 25 pp. 1691~1695. (1982).
- Mielcarek. P and Rzeźnik, W, "Odor Emission Factors from Livestock Production". Polish J. of Environ. Stud., 24(1) pp. 27~35. (2014).
- Miller, DN and Varel, VH, "Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds", , 1pp.2131~2138.(2003).
- Mirabelli, MC, Wing, S, Marshall, ST and Wilcosky, TC, "Asthma symptoms among adolescents who attend public schools that are located near confined swine feeding operations". Pediatrics, 118 (1) pp. 66~75. (2006).
- Nagle, HT, et. al., "Development of the electronic nose for monitoring odors". Ani. Waste Manag. Symp.. Cary, NC. pp. 119~127. (1999).
- Ndegwa, PM, Zhu, J and Luo, A, "SE~ Structures and Environment: Effects of solids separation and time on the production of odorous compounds in stored pig slurry". Biosys. Engi., 81pp. 127~133. (2002).

- Ni, JQ, Heber, AJ, Diehl, CA and Lim, TT, "SE-Structures and Environment: ammonia, hydrogen sulphide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits". J. of Agri. Engi. Res., 77 pp. 53~66. (2000).
- Ni, J.Q., Heber, A.J., Lim, T.T., Duggirala, R.K., Haymore, B.L., Diehl, C.A., 1999. Continuous measurement of hydrogen sulfide emission from two large swine finishing buildings. ASAE Meeting Paper No. 994132.
- Ni, J.Q., Heber, A.J., Diehl, C.A., Lim, T.T., 2000. Ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits. Journal of Agricultural Engineering Research 77, 53 - 66.
- Nicolai, D, et. al., "Effect of shelterbelts on H₂S emissions from swine barns", Air Quality Education in Animal Agriculture Webcast Series, Livestock and Poultry Environmental Learning Center. 2010.
- Nicolai, RE and Janni, KA, "Designing biofilters for livestock facilities. Air pollution from agricultural operations". The Second International Conference, Des Moines, Iowa, USA. pp, 376~383. (2000).
- Nicolai, RE and Lefers, RM, "Biofilters used to reduce emissions from livestock housing: A literature review", Workshop on Agricultural Air Quality: State of the Science. Washington, D.C. USA. pp. 952~960. (2006).
- Nicolai, RE, Lefers, RS and Pohl, SH, "Configuration of a vertical biofilter". St. Joseph, Mich. ASAE paper: 701P0205. 2005.
- Nicolai, RE, Pohl, S and Schmidt, D, "Covers for manure storage units". South Dakota State Univ. (2002).
- NRC (National Research Council), Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs. National Academy Press, Washington, D.C., pp 286. (2003).
- Oosthoek, J., Kroodsma, W., Hoeksma, P., 1991. Ammonia emission from dairy and pig housing systems. In: Nielsen, V.C., Voorburg, J.H., Hermite (Eds.), Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming, Elsevier Applied Science, pp. 31 - 41.
- P.H.Liao A.Chen K.V.Lo. Removal of nitrogen from swine manure wastewaters by ammonia

stripping. *Bioresource Technology*. Volume 54, Issue 1, 1995, Pages 17-20

Page, LH, Ni, JQ, Heber, AJ, Mosier, NS, Liu, X, Soo, H, JP, Ndegwa, M and Harrison, JH, "Characteristics of volatile fatty acids in stored dairy manure before and after anaerobic digestion". *Biosys. Engi.*, 118 pp. 16 ~28. (2014).

Pain, BF, Misselbrook, TH, Clarkson, CR and Rees, YJ, "Odour and ammonia emissions follow the spreading of anaerobically-digested pig slurry on grassland". *Biolog. Wastes*, 34 pp. 259~267. (1990).

Palmquist, RB, Roka, FM and Vukina, T, "Hog operations, environmental effects, and residential property values". *Land Econo.*, 73 (1) pp. 114 - 124. (1997).

Parker, DB, Gilley, J, Woodbury, B, Kim, KH, Galvin, G, Bartelt-Hunt, SL, Li, X and Snow, DD, "Odorous VOC emission following land application of swine manure slurry". *Atmos. Environ.*, 66, 91~100. (2013).

Parker, DB, Malone, GW and Walter, WD, "Vegetative environmental buffer and exhaust fan deflectors for reducing downwind odor and VOCs from tunnel~ventilated swine barns". *Trans ASABE*, 55(1): 227~240. (2012).

Powers, W, "Conserving nutrients during storage", *Manure Sense guide*, East Lansing, Mich., Michigan State Univ. (2009).

Powers, W, Zamzow, S and Kerr, BJ, "Reduced crude protein effects on aerial emissions from swine". *Appli. Engin. in Agri.*, 23(4) pp. 539~546. (2007).

Powers, WJ, et. al., "Objective measurement of odors using gas chromatography/mass spectrometry and instrumental technologies", *Air Pollution from Agricultural Operations*. St. Joseph, MI. ASAE. pp. 163~169.(2000).

Powers, WJ, Van-Horn, HH, Wilkie, AC, Wilcox, CJ, and Nordstedt, RA, "Effects of anaerobic digestion and additives to effluent or cattle feed on odor and odorant concentrations". *J. of Ani. Sci.*, 77 pp. 1412~1421. (1999).

Priem, R, "Deodorization by means of ozone". *Agri. and Environ.*, 3 pp. 229~237. (1977).

Rahman, S and Newman, D, "Odor, ammonia, and hydrogen sulfide concentration and

- emissions from two farrowing gestation swine operations in North Dakota". *Appli. Engi. in Agri.*, 28(1), 107~115. (2012).
- Rahman, S, and Borhan, MS, "Typical odor mitigation technologies for swine production facilities: A review". *J. of Civil & Environ. Engi.*, 2(4) pp.117~128. (2012).
- Rappert S and Muller, R, "Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries". *Waste Manag.*, 25 pp. 887~907. (2005).
- Richard, TL, and Smits, S, "Management of bedded~pack manure from swine hoop structures", *Swine Research Report*, St Joseph, MI. ASAE paper: 984127. (1998).
- Riskowski, G.L, "Overview of methods to reduce odorant emissions from confinement swine buildings", *Conf. Swine Odor and Manure Management*. Univ. Illinois Pork Industry. (2003).
- Ritter, WF, "Odour control of livestock wastes: State~ofthe~ art in North America". *J.of Agri. Engin. Res.*, 42(1) pp. 51~62. (1989).
- Rumsey, IC, Aneja, VP and Lonneman, WA, "Characterizing non-methane volatile organic compounds emissions from a swine concentrated animal feeding operation". *Atmos. Environ.* 47 pp. 348~357. 2012.
- Salvador Calvet, John Hunt, and Tom H. Misselbrook. Low frequency aeration of pig slurry affects slurry characteristics and emissions of greenhouse gases and ammonia. *Biosyst Eng.* 2017 Jul; 159: 121 - 132.
- Schiffman S, Bennett, J and Raymer, J, "Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina". , 108 pp. 213~240. (2001).
- Schmidt, DR, Janni, KA and Nicolai, RE, "Biofilter design information". BAE #18. Univ. Minnesota, Dept. Biosy. & Agri. Eng. (2004).
- Sheridan, B, Curran, T, Dodd, V and Colligan, J, "Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit: A pilot scale study". *Biosys. Engi.*, 82(4) pp. 441~453. (2002).
- Sneath, RW, and Clarkson, C, "A standard that ensures repeatable odour measurements. In: *Air Pollution from Agricultural Operations*". The Second International Conference. ASAE. St. Joseph, MI. pp.170-179. (2000).

- Song, JM, Yang, HS, Ko, HJ, Kim, YJ, Kim, KY and Kang, CH, "Seasonal concentrations and emission characteristics of odorous compounds produced from swine facilities in Jeju Island". *Analy. Sci. and Tech.*, 26 (6) pp. 364~374. (2013).
- Sørensen P., Eriksen J. Effects of slurry acidification with sulphuric acid combined with aeration on the turnover and plant availability of nitrogen. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2009;131(3 - 4):240 - 246.
- Stenglein, RM, et. al., "Covers for mitigating odor and gas emissions in animal agriculture: An Overview". USDA Air Quality Education in Animal Agriculture. Washington, D.C. (2011).
- Sun, G., Huiqing G., and Jonathan P. 2010. Seasonal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide concentrations and emissions from swine grower-finisher rooms. *Journal of the Air & Waste Management Association* 60.4, 471-480.
- Sun, G, Guo, H and Peterson, J, "Seasonal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide concentrations and emissions from swine grower~finisher rooms". *J. of Air & Waste Manage. Associ.*, 60(4) pp. 471~480. (2010).
- Sun, Y, Clanton, C.J, Janni, KA, Malzer, GL, "Sulfur and nitrogen balances in biofilters for odorous gas emission control". *Trans. ASABE*, 43(6) pp. 1861~1875. (2000).
- Sutton, AL, Kephart, KB, Verstegen, MWA, Canh, TT, Hobbs, PJ, "Potential for reduction of odours compounds in swine manure through diet modification", *J. of Ani. Sci.*, 77 pp. 430~439. (1999).
- Swierstra, D, Braam, CR and Smits, MC, "Grooved Floor system for cattle housing Ammonia emissions reduction and good slip resistance". *Appli. Engin. in Agri.*, 17(1) pp. 85~90. (2001).
- Szögi, AA, and Vanotti, MB, "Abatement of ammonia emissions from swine lagoons using polymer~enhanced solidliquid separation". *Appli. Engin. in Agri.*, 23(6) pp. 837~845. (2007).
- Thorne, PS, Ansley, AC and Perry, SS, "Concentrations of bioaerosols, odors, and hydrogen sulfide inside and downwind from two types of swine livestock operations". *J. of Occup.*

- & Environ. Hyg., (6) pp. 211~220. (2009).
- Thu, KM, "Public health concerns for neighbors of large-scale swine production operations". J. of Agri. Safety & Health, 8 pp. 175 - 178. (2002).
- Trabue S, Scoggin, K, McConnell, L, Maghirang, R and Razote, E, "Identifying and tracking key odorants from cattle feedlots". Atmos. Environ., 45pp. 4243~4251. (2011).
- Ubeda, Y, Lopez~Jimenez, PA, Nicolas, J and Calvet, S, "Strategies to control odours in livestock facilities: a critical review". Spanish J. of Agri. Res., 11(4) pp. 1004~1015. (2013).
- Van der Heyden, C., Demeyer P., Volcke, E.I.P., 2015. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives, Biosystems engineering 134, 74-93.
- Vander~Zaag, AC, Gordon, RJ, Glass, VM and Jamieson, RC, "Floating covers to reduce gas emissions from liquid manure storages: A review". Appli. Engin. in Agri., 24(5) pp. 657~671. (2008).
- Varel, V.H., "Livestock manure odor abatement with plant-derived oils and nitrogen conservation with urease inhibitors: A review". J. of Ani. Sci., 80 pp. E1~E7. (2002).
- Walker, J, Spence, P, Kimbrough, S and Robarge, W, "Inferential model estimates of ammonia dry deposition in the vicinity of a swine production facility". Atmos. Environ., 42(14) pp. 3407~3418.(2008).
- Walter, D, "Vegetative environmental buffers: New technology benefitting livestock farmers". Green Horizons, 14(3), 3. (2010).
- Watkins, BD, et. al., "Ozonation of swine manure wastes to control odors and reduce concentrations of pathogens and toxic fermentation metabolites". International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations Kansas City. IA: Mid~West Plan Service. Pp. 379~86. (1996).
- Watts, PJ, and Sweeten, JM, "Toward a better regulatory model for odor". Feedlot waste management conference, Queensland, Australia. (1995).
- Westerman, PW, Zhang, RH, "Aeration of livestock manure slurry and lagoon liquid for

- odor control: A review". *Appli. Engin.in Agri.*, 13 pp. 245~249. (1997).
- Williams, AG, "Indicators of piggery slurry odour offensiveness". *Agricultural Wastes*, 10 pp.15-36. (1984).
- Williams, AG, Shaw, M, Selviah, CM, and Cumby, RJ, "The oxygen requirements for deodorizing and stabilizing pig slurry by aerobic treatment". *J. of Agri. Engin. Res.*, 43 pp. 291~311. (1989).
- Williams, AG,"Floating covers to reduce ammonia emissions from slurry". *International Symp. of Gaseous and Odor Emissions from Animal Production Facilities*. Horsens, Denmark. (2003).
- Wing, S and Wolf, S, "Intensive livestock operations, health, and quality of life among eastern North Carolina residents", *Environ. Health Persp.*, 108 pp. 233 - 238.(2000).
- Zahn, JA, Hatfield, JL, Do, YS, DiSpirito, AA, Laird, DA and Pfeiffer, RL, "Characterization of volatile organic emissions and wastes from a swine production facility". *J. of Environ. Qual.*, 26(6) pp. 1687~1696. (1997).
- Zahn, JA, Hatfield, JL, Laird, DA, Hart, TT, Do, YS and DiSpirito, AA, "Functional classification of swine manure management systems based on effluent and gas emission characteristics". *J. of Environ. Qual.*, 30(2), 635~647. (2001).
- Zhang Q, Feddes, J, Edeogu, I, Nyachoti, M, and House, J, Odour production, evaluation, and control. Final report, Manitoba Livestock manure management Initiative Inc., (project MLMMI 02~HERS 03). (2002).
- Zhang Y, Tanaka, A, Barber, EM, Feddes, JJR, "Effects of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings". *Trans.ASAE* 39(3) pp.1077~1081. (1996).
- Zhang Z., Zhu J. Effectiveness of short-term aeration in treating swine finishing manure to reduce odour generation potential. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2005;105(1 - 2):115 - 125.
- Zhang ZJ, Zhu, J, Park, KJ, "Effects of duration and intensity of aeration on solids decomposition in pig slurry for odour control". *Biosys. Engi.*, 89 pp. 445~456.(2004).

Zhang, RH, Tao J and Dugba, PN, "Evaluation of two-stage anaerobic sequencing batch reactor systems for animal wastewater treatment". Trans. ASABE. 43: 1795~1801. (2000).

Zhang, ZJ, Zhu, J, "A surface aeration system to reduce VFA, BOD, and solids in manure stored in open facilities". Appl. Engin. in Agri., 19 pp. 717~723. (2003).

Zhu J, Zhang, Z and Miller, C, "Odor and aeration efficiency affected by solids in swine manure during post~aeration storage". Trans. ASABE.51pp. 293~300. (2008).

Zhu, J, "Some intermittent aeration kinetics from a laboratory study with pig slurry". J. of Agri. Engi. Res., 80 pp. 307~310. (2001).

Zhu, T., Pattey, E., Deesjardins, R.L., 2000. Relaxed eddy-accumulation technique for measuring ammonia volatilization. Environmental Science and Technology 34, 199 - 203.

환경부·농림수산식품부·농협중앙회. 가축분뇨 자원화시설 표준설계도(해설서). (2009)

(사)친환경자연순환농업협회. 통합형 가축분뇨 자원화 혁신모델 사업단. 농림축산식품부 연구보고서. (2017)

곽정훈. 축산냄새 저감 기술. 2016년 한국동물자원과학회 춘계심포지엄 발표자료. (2016)

국립축산과학원(2017) 올바른 가축분뇨 퇴비 만들기

국립축산과학원. 올바른 가축분뇨 퇴비 만들기. (2017)

한국축산환경시설기계협회. 축산기자재가격정보. (2011~2015)

農文協 (2004) 畜産環境對策大事典(第2版)

環境省環境管理局大氣生活環境室. 防脱臭技術の適用に関する手引き. (2003)

주 의

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