

보안과제(), 일반과제(○)

과제번호 PJ312036

발간등록번호

11-1543000-001183-01

동물복지와 환경제어를 고려한 차세대
돈사 모델 및 모든 사육시스템 개발

(Development of pig housing and breeding system
for animal welfare and environmental control)

단국대학교 천안캠퍼스 산학협력단

농림축산식품자료실



0015997

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “동물복지와 환경제어를 고려한 차세대 돈사 모델 및 모돈 사육시스템 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2016 년 01 월 21 일

주관연구기관명 : 단국대학교 천안캠퍼스 산학협력단

주관연구책임자 : 김 인 호

세부연구책임자 : 김 인 호

연 구 원 : 김 승 철

연 구 원 : 퇴 연

연 구 원 : 차 이 량

연 구 원 : 이 한 린

연 구 원 : 모센모하메디게이설

연 구 원 : 베굼모스타리나

연 구 원 : 호사인엠디마닉

연 구 원 : 호세인도스트압둘레자

협동연구기관명 : 순천대학교 산학협력단

협동연구책임자 : 양 철 주

협동연구기관명 : (사)경축순환자원화연구원

협동연구책임자 : 최 흥 립

협동연구기관명 : 경상대학교 산학협력단

협동연구책임자 : 장 흥 희

요 약 문

I. 제 목

1. 주관과제명

관리번호	312036-3	공개가능여부	<input checked="" type="checkbox"/> 가 <input type="checkbox"/> 부
과제명	동물복지와 환경제어를 고려한 차세대 돈사 모델 및 모돈 사육시스템 개발		
연구책임자	김 인 호		
	단국대학교 천안캠퍼스 산학협력단		
	충남 천안		

2. 세부과제명

구분	과제명	연구기관명 (책임자)
제 1세부	동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	단국대학교 천안캠퍼스 산학협력단 (김인호)
제 1협동	에너지 저감형 돈사 모델 개발	순천대학교 산학협력단 (양철주)
제 2협동	온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	(사)경축순환자원화연구원 (최홍림)
제 3협동	돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	경상대학교 산학협력단 (장홍희)

II. 연구성과 목표 대비 실적

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2013)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	사육형태별 번식생산성 비교 평가	100	스톨, 군사, 솔더 사육시스템의 번식생산성 비교평가
		임신단계 적용 사양시스템에 의한 생산성 규명	100	임신단계에서 섬유소원료의 추가급여에 따른 모돈 및 자돈의 생산성 평가

	<제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발	사양관리 조건 탐색	100	가축의 최적 사양관리 조건 탐색 관행축사의 전기 사용량 및 이산화탄소 발생량 조사
		태양열을 활용한 돈사 모델 구축	100	양돈장 규모별 최적 설비 조건 탐색
		태양열을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구	100	태양열 발생 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구
	<제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	우리나라 돈사유형별, 성장단계별 돈사의 악취 및 온실가스 특성 분석 (GC-MS) 및 이의 분류화	80	돈사형태별, 성장단계별 악취 및 온실가스 성분분석
		실용적 pilot악취저감시스템-연계 환기시스템 설계 및 설비	100	우리나라 특성적 돈사의 온실가스 및 악취가스 에 근거한 실용적(SEC) 악취저감시스템-연계환기시스템 개념개발, 설계, 설비
		GHOG 감응관리시스템 구축	50	실용적 GHOG 감응센서 탐색 및 실시간 data logging시스템구축
	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	사육시설과 암모니아 가스 농도가 분만모돈(수유모돈)의 복지에 미치는 영향 규명	100	시설간 환경 측정 평가 분석
			100	시설간 분만모돈 생산성 비교 평가
			100	분만모돈의 복지를 위한 적정 호르몬 농도 제시
			100	돼지 생식기 호르몬 증후군 질병 양상을 ELISA 항원 항체 반응을 통해 비교, 분석
100			복지형 사육시설 제시	
100			복지형 사양관방법(환경기준) 제시	
2차 년도 (2014)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	○ 스톨 vs RFID 군사시스템 vs Shoulder 사육시스템 번식생산성 비교평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	스톨, 군사, 솔더 사육을 통하여 연산성의 비교평가
		○ 임신단계에서 섬유소 추가 급여에 따른 번식생산성 평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	임신단계 섬유소 추가급여를 통한 연산성의 비교평가

<p><제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발</p>	지열을 활용한 돈사 모델 구축	100	업체조사 및 가격 조사 양돈장 규모별 시설 구축비 및 예상 효율 조사 모델 구축을 통한 운영 효과 조사
	지열 돈사 작동시스템 연구	100	지열돈사의 온도유지 작동 시스템 연구
	지열을 활용한 최적 운영방 안에 대한 연구	100	지열 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구
	동물복지농장에 대한 조사	100	동물복지 농장의 전기사용량 조사 신재생에너지에 대한 의견 조사
<p><제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발</p>	실용적 환기시스템-GHOG 저감시스템 통합적 유체동력 학적 검증	100	실내환기시스템- pilot GHOG시스템의 작동시 유체동역학적 효율분석여부 - 틈새면적/전면적<10%; 정압 :10~30Pa유지
	<p>악취 및 온실가스저감을 위 한 복합미생물군(MM)의 개 발 및 MM접종 바이오필터 장착 악취제거 시스템 개발</p>	100	악취 및 온실가스저감을 위한 복합미생물군(MM)의 개발 및 전해수제조
		100	미생물 접종 바이오필터를 이용한 악취제거 시스템 개발여부 - GHOG삭감효율을 만족하면서 소요환기율을 유지할 수 있는지? 평가
	<p>GHOG 저감을 위한 filter pad에 전해수(電解水) 적용 및 이의 효율분석</p>	100	개발미생물/전해수 in-lab biofilter 접종 및 이의 삭감효율 정량화 - NH3<3ppm, H2S<20ppb, CO2<3000ppm
100		악취 및 온실가스저감을 위한 전해수(電解水) 제조 및 특성분석여부 전해수 biofilter pad접종 및 이의 악취 삭감효율 악취농도 만족여부 - NH3<3ppm, H2S<20ppb, CO2<3000ppm	

	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	사육시설과 암모니아 가스 농도가 임신돈의 복지에 미 치는 영향 규명	100	시설간 환경 측정 평가 분석
			100	시설간 임신돈 생산성 비교 평가
			0	임신돈의 복지를 위한 걱정 호르몬 농도 제시(농장주가 유사산을 우려하여 채혈을 강하게 반대하여 채혈을 하지 못함)
			100	복지형 사육시설 제시
			100	복지형 사양관방법(환경기준) 제시
3차 년도 (2015)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	스톨 vs RFID 군사시스템 vs Shoulder 사육시스템 번 식생산성 비교평가 (3년간 6 산 이상 평가)	100	스톨, 군사, 솔더 사육을 통하여 연산성의 비교평가
		임신단계에서 섬유소 추가 급여에 따른 번식생산성 평 가 (3년간 6산 이상 평가)	100	임신단계 섬유소 추가급여를 통한 연산성의 비교평가
	<제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발	지열을 활용한 돈사 모델 구 축	100	업체조사 및 가격 조사 양돈장 규모별 시설 구축비 및 예상 효율 조사 모델 구축을 통한 운영 효과 조사
		지열 돈사 작동시스템 연구	100	지열돈사의 온도유지 작동 시스템 연구
		지열을 활용한 최적 운영방 안에 대한 연구	100	지열 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구
		동물복지농장에 대한 조사	100	동물복지 농장의 전기사용량 조사 신재생에너지에 대한 의견 조사
	<제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	GHOG저감 시스템 효율분석 결과 최적시스템 정립	100	이의 경시적 GHOG 저감 효율분석 GHOG 화합물 9종 기준농도 만족여부 돈사내·외 GHOG를 대변할 수 있는 지표개발 및 GHOG 9종과의 상관성 분석
		공기질, 생산성, 돼지 스트레 스와의 상관성 분석	100	요인 간 상관성 분석 질병, 생산성, 미세먼지, 악취, 동물행동

		□ GHOG 저감 시스템 표준화	100	돼지의 스트레스 홀몬과 면역력 GHOG 저감시설의 현장적용
	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	○ 사육밀도와 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성비육돈의 복지에 미치는 영향 규명	100	사육밀도와 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성비육돈의 복지에 미치는 영향 규명

III. 연구개발의 목적 및 필요성

- 국내 실정에 알맞은 동물복지 관점에서 생각하며, EU 양돈 선진 국가의 현행의 장·단점을 파악하고 경제적인 관점에서도 충분히 고려한 다음 앞에서 언급한 동물복지의 5대 자유를 가능한 만큼 충족하는 것이 필요
- 국내 MSY (모돈두당 연간출하두수)는 14.5두 정도이고, 유럽은 MSY가 23-24두로 우리나라에 비해 2배정도 높은 현실임
- 축산업계에서도 동물복지에 대한 필요성은 인식하고 있으나 사양관리의 편리성 및 생산성 향상 등의 이유로 현장적용이 어려운 실정임
- 축사현대화는 현 시점에 양돈경쟁력강화를 일환으로 실현되어야 함. 이에 발맞추어 양돈장의 환경수준과 동물복지 개선을 함께 실현함으로써 유럽의 선진국형 양돈 산업과 충분히 경쟁력을 가지고 선진국 수준으로 도약할 수 있는 계기로 삼아야 함
- 동물 복지에 대한 관심이 증가되면서 축산물 생산과정에서의 동물복지가 심각한 문제로 제기되고 있으며, 양돈의 경우 사육환경이 적절치 않고 임신돈에서 사육틀 사용이 문제로 대두되고 있음
- 특히, 생산성에 중점을 둔 양돈업과 양계업에 있어서 열악하고 부적절한 사육환경으로 소비자의 신뢰상실과 한·EU FTA와 같은 시장개방 등으로 의한 국제 경쟁력을 떨어 뜨려 축산농가의 경영 악화가 예상됨
- 우리나라의 우수한 IT 기술과 인력을 바탕으로 동물복지형 첨단 사양관리 시스템을 개발할 경우 수입축산물에 대응할 수 있는 동물복지형 축산물 생산이 가능할 것으로 예상됨
- 축산업의 연간 총생산액은 약 11조8000억원(2006년 농림통계자료)이며 이 중에서 양돈업계의 생산액이 약 3조8000억 원(2006년 대한양돈협회)에 달하며, 전체 농업에 있어 단일 업종으로는 벼 생산 다음으로 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 현재 국내에서 사육되고 있는 전체 사육두수는 2007년 6월 기준으로 938만 2천여두에 달하고 점차 증가할 것으로 보이며, 사육호수가 점차 대형화 되고 있는 추세임
- 지금까지 축산경영은 수익률을 높이기 위한 공장형 축산 형태의 축산업 영위
- 국내외 시장 개방에 따라 국내 축산업의 경쟁력 확보가 시급히 요구되고 있으나, 동물복지, 에너지 저감을 통한 생산성 증대, 환경오염 방지 대책 등이 미비함
- 양돈산업의 경우 그 사육 특성상 돈사내 사육환경 관리를 위한 보온등 사용, 열풍기 사용 등으로 전기 사용량이 타 축종에 비하여 월등히 높은 실정이며, 최근 국제 유가의 상승 및 전력 수급 불안 등으로 인하여 양돈장에 적합한 대체에너지의 개발과 이를 이용한 미래형 돈사모델 개발이 시급히 요구되고 있음

- 환경부의 연구용역 ('가축사육 제한구역 지정기준 권고안 마련을 위한 연구'. (주)공간정보기술, 2011. 09.) 결과로 도출된 '축사간 최소제한거리'에 대한 권고를 전(全)지자체에 전면적으로 확산시켜 조례화할 경우, 축산이 급격히 위축될 것으로 판단된다. 이 연구용역은 주로 악취발생원인 돈사 내·외부를 중심으로 연구결과를 도출함으로써 특히 실용적인 (SEC : Simple but Efficient and Cost-effective) 돈사(豚舍)의 악취 및 온실가스의 저감시스템 개발에 목적을 두었다.
- 연구용역(2011.09.)에서 인용한 유일한 과학적 검증인 2004년 환경부용역 결과인 '우사·양계사 등에서 발생하는 악취배출 특성 및 저감방안연구', (사)한국냄새환경학회, 2004. 04.에는 양돈사는 포함되어 있지도 않으며, 당시 축산환경의 수준은 낙후되어 그때를 기준으로 권고안을 제시하는 것은 비현실적/비과학적인 시책이 될 수 있으므로 축산에서는 현재 또는 미래축산에 대한 과학적인 검증 database 및 미래축산에 대한 정량적 자료를 확보함으로써 대내외적으로 설득력 있는 대응 축산정책이 마련되어야 한다.
- 그러므로 돈사경계면에서 축산유래 악취가스 6종 (암모니아 NH₃ <3.0ppm, TMA, (CH₃)₃N <5ppb, 황화수소, H₂S<20ppb, MM, CH₃SH <2ppb, DMS, (CH₃)₂S <10ppb, DMDS, (CH₃)₂SS(CH₃) <9ppb 등)와 축산유래 온실가스 3종 (이산화탄소, CO₂<3000ppm, 메탄 CH₄<3.0ppm, 아산화질소, N₂O<1.0ppm) 만족시킬 수 있는 실용적 악취 및 온실가스 저감시스템 및 이의 제어기술의 개발을 본 세부연구의 목표로 함.
- 축산농가의 경쟁력 강화와 동물복지 축산의 조기 정착 및 보급을 위해서는 돈사시설, 축산기구 및 시스템 구축 등의 종합적인 연구개발이 시급함

IV. 연구개발 내용 및 범위

- 한국형 복지모든 사육시스템 개발 및 현장 실증평가
 - 스톨을 대체할 수 있는 모든 사양시스템 (Shoulder length barrier, RFID 군사시스템)의 사양시험을 통한 비교평가
 - : 사양시스템에 따른 모든 연산성 및 자돈의 생산성 측정 (3년간 연속 시험)
 - 양돈 복지 사양시스템용 공복 스트레스 저감 급여 프로그램에 따른 모든의 생산성 및 연산성 측정
 - : 군사 사양중 포만감을 위한 섬유소의 추가 급여에 따른 생산성 규명 (3년간 연속 시험)
 - 한국형 복지모든 사양시스템의 실제 양돈농가 적용을 통한 현장 검증 평가
- 에너지 저감과 동물복지를 고려한 환경친화적 돈사 모델 개발 및 현장 실증평가
 - 대체 에너지 기술을 활용한 환경 친화 돈사 개발
 - : 태양열 및 지열을 이용한 에너지 저감형 돈사 모델개발 및 경제성 분석
- 돈사경계면에서 축산유래 악취가스 6종 (암모니아, TMA, 황화수소, MM, DMS, DMDS)과 축산유래 온실가스 3종 (이산화탄소, 메탄, 아산화질소)의 기준농도를 만족시킬 수 있는 실용적 악취 및 온실가스 저감시스템 및 이의 제어기술의 개발을 위한 세부연구의 내용은 다음과 같다.
 - 우리 나라 대표 돈사유형별 (원치돈사, 밀폐돈사) 및 악취저감 기술별(water scrubbing and biofiltration) 악취 및 온실가스 특성분석 (GC-MS) 및 이의 분류화
 - 우리 나라 특성적 돈사의 온실가스 및 악취가스 (이후 'GHOG : GreenHouse & Odourous Gas')에 근거한 실용적 저감시스템 설계 및 pilot제작, 이의 hardware적 효율실험 및 hardware적 시스템개선
 - 개발한 실용적 GHOG 저감시스템의 온실가스 3종 및 악취가스 6종을 함축할 수 있는 index 탐색 (예를 들면, 악취강도지수 등) 및 개발, 이의 개별 악취가스와의 상관성 분석
 - 돈사 내 및 가스 감응센서(sensor), 모니터링 장치(sensing system) 개발

- 실용적 GHOG 저감시스템의 온실가스 및 악취가스의 계절별 저감효율 분석
- GHOG 저감관련 미생물 탐색 (동정, 증식, 접종 등) 및 이의 상관성 도출
- 환기시스템-GHOG농도- 폐지의 스트레스-면역력-질병 등의 주요변인간 상관성 분석
- 우리나라 돈사에 맞는 실용적 GHOG 저감 시스템개발 및 이의 현장적용을 위한 표준화

V. 연구개발결과

1. 제 1세부 결과

- 본 보고서는 중소형 농가가 많은 국내에 적용할 수 있는 동물복지를 위한 모든 군사 사육시설의 개발에 관한 것이다. 시험은 국내 모든 군사 사육에 적합한 솔더 시스템을 기존 스톨사육과 선진국형 전자식 모든 자동 급이기를 이용한 군사사육과 비교하여 효율성을 평가한 시험1과 임신기 모돈에 섬유소를 추가적으로 급여하여 효율을 평가한 시험2로 진행하였다.
- 솔더 시스템을 이용한 모든 사육이 번식성적에 미치는 영향에 대한 결과로 솔더 시스템이 선진국형 사육시스템인 전자식 모든 자동 급이기를 이용한 군사 사육과 비교하여 유의적인 차이를 나타내지 않았고 ($P>0.05$), 스톨사육과 비교하여 스트레스 호르몬인 Cortisol, Epinephrine, Norepinephrine의 저감 ($P<0.05$)과 포유자돈의 성장성이 향상 ($P<0.05$) 되었으며, 모돈의 경제적 수명이 개선되는 효과를 나타내었다.
- 임신기 섬유소의 추가적인 급여가 번식성적에 미치는 영향에 대한 결과는 임신기 섬유소의 추가적인 급여가 모돈의 스트레스를 저감 ($P<0.05$)하고 포유자돈의 성장성을 개선할 수 있는 것으로 규명하였다.
- 결론적으로 한국형 모돈사양시스템인 솔더 시스템의 사용시 스트레스 저감과 자돈의 성장성 향상 및 모돈의 경제적 수명을 개선시켜주고 추가적인 섬유소의 이용을 통하여 모돈의 복지사육을 실현시키는 것이 가능할 것으로 판단된다.

2. 제 1협동 결과

- 태양열을 활용한 에너지 저감형 친환경 돈사 모델 개발
 - 태양열 돈사의 집열판 및 온수 저장탱크 입·출구 온도측정은 2013년 9월 10일~2013년 9월 24일 (2주)까지 측정하였다. 집열판은 주간인 경우 최대 111.3°C가 유지되었으며, 최소 16.45°C가 유지되었다. 야간의 경우 최대 80.5°C가 유지되었으며, 최소 17.19°C가 유지되었다. 온수저장탱크는 주간인 경우 최대 86.6°C가 유지 되었으며, 최소 23.77°C가 유지되었다. 야간의 경우 최대 84.7°C가 유지되었으며, 최소 24.80°C가 유지되었다.
 - 태양열 인큐베이터 돈사 내부의 2주간 (2013년 9월 10일~2013년 9월 24일) 측정된 평균 온도 결과이다. 인큐베이터 돈사 내부온도는 2주 동안 24시간 기록되었으며, 8시를 기점으로 주간과 야간으로 나누었다. 온도측정 위치는 상단부와 하단부로 나누어 측정되었으며, 돈사 별로 6곳에서 측정하였다. 주간에서 상단부의 경우 대조구에서 평균 30.50°C, 태양열 인큐베이터 돈사에서 평균 30.65°C로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.15°C 높게 측정되었다. 하단부의 경우 대조구에서 평균 30.52°C, 태양열 인큐베이터 돈사에서 평균 30.75°C로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.23°C 높게 측정되었다. 야간에서 상단부의 경우 대

조구에서 평균 28.33℃, 태양열 인큐베이터 돈사에서 평균 28.36℃로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.03℃ 높게 측정되었다. 하단부의 경우 대조구에서 평균 28.20℃, 태양열 인큐베이터 돈사에서 28.67℃로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.47℃ 높게 측정되었다.

- 태양열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 분석하였다. 0~1주간의 실험기간 중 증체량은 태양열 인큐베이터 돈사에서 1.81 kg으로 대조구 1.72 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 2.37 kg으로 태양열 인큐베이터 돈사 2.14 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.38으로 태양열 인큐베이터 돈사 1.18보다 높게 나타났다. 1~2주간의 실험기간 중 증체량은 태양열 인큐베이터 돈사에서 1.85 kg으로 대조구 1.50 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 3.33 kg으로 태양열 인큐베이터 3.22 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.84로 태양열 인큐베이터 돈사 1.74보다 높게 나타났다. 0~2주간의 실험기간 중 증체량은 태양열 인큐베이터 돈사에서 3.99 kg으로 대조구 3.87 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 5.09 kg으로 태양열 인큐베이터 돈사 4.93 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.32로 태양열 인큐베이터 돈사 1.24보다 높게 나타났다.
- 태양열 인큐베이터 돈사의 자돈 경제성 분석을 실시하였다. 0~1주간의 실험기간 중 사료비는 대조구는 마리당 43,642.5원, 태양열 인큐베이터 돈사에는 마리당 37,317.5원으로 14.5% 절감되었다. 1~2주간의 실험기간 중 사료비는 대조구는 마리당 58,190원, 태양열 인큐베이터 돈사에는 마리당 55,027.5원으로 5.4% 절감되었다. 0~2주간의 실험기간 중 사료비는 대조구는 마리당 41,745원, 태양열 인큐베이터 돈사에는 마리당 39,215원으로 6.1% 절감되었다.
- 태양열 인큐베이터 돈사의 기후별, 주·야간 전기사용량을 조사하였다. 주간의 경우 맑은 날은 대조구에서 39.6 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 31.9 kWh으로 19.4% 감소되었으며, 흐린 날은 대조구에서 55.3 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 45.4 kWh으로 17.9% 감소되었다. 평균적으로 대조구는 47.5 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 38.7 kWh으로 18.5% 감소되었다. 야간의 경우 맑은 날은 대조구에서 77.2 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 64.7 kWh으로 16.2% 감소되었으며, 흐린 날은 대조구에서 71.6 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사에서는 60.9 kWh으로 14.9% 감소되었다. 평균적으로 대조구는 74.4 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 62.8kWh으로 15.6% 감소되었다. 전체적인 평균은 대조구 60.95 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사 50.75 kWh으로 17.1% 감소되었다.

■ 지열을 활용한 에너지 저감형 친환경 돈사 모델 개발

- 지열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 분석한 결과이다. 0~1주차의 실험기간 중 증체량은 지열 인큐베이터 돈사에서 0.75 kg으로 대조구 0.71 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 지열 인큐베이터 돈사에서 1.93 kg으로 대조구 1.91 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.69로 지열 인큐베이터 돈사 2.57보다 높게 나타났다. 1~2주차의 실험기간

중 증체량은 지열 인큐베이터 돈사에서 1.86 kg으로 대조구 1.77 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 3.83 kg으로 지열 인큐베이터 돈사 3.72 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.16으로 지열 인큐베이터 돈사 2.00보다 높게 나타났다. 2~3주차의 실험기간 중 증체량은 대조구 2.21 kg으로 지열 인큐베이터 돈사 2.17 kg 보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 지열 인큐베이터 돈사에서 3.71 kg으로 대조구 3.56 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 지열 인큐베이터 돈사에서 1.71으로 대조구 1.61보다 높게 나타났다. 0~3주차의 실험기간 중 증체량은 지열 인큐베이터 돈사에서 4.78 kg으로 대조구 4.69 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 지열 인큐베이터 돈사에서 9.35 kg으로 대조구 9.31 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.98로 지열 인큐베이터 돈사 1.96보다 높게 나타났다.

- 지열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 경제성 분석한 결과이다. 0~1주차의 실험기간 중 사료비용은 대조구에서 두당 1,807.68원, 지열 인큐베이터 돈사에는 두당 1,724.04원으로 4.5% 절감되었다. 1~2주차의 실험기간 중 사료비용은 대조구에서 두당 1,451.52원, 지열 인큐베이터 돈사에는 두당 1,344.00원으로 7.4% 절감되었다. 2~3주차의 실험기간 중 사료비용은 지열 인큐베이터 돈사에서 1,149.12원, 대조구에서 1,081.92원으로 6.2% 증가되었다. 0~3주차의 실험기간 중 사료비용은 대조구에서 1,330.56원, 지열 인큐베이터 돈사에서 1,317.12원으로 2.1% 절감되었다.
- 지열시스템 지열히트펌프 난방지수 (COP) 분석 결과이다. 난방성능지수 측정위치는 지열히트펌프~물저장탱크구간으로 측정하였다. 주간의 COP는 2.86, 야간의 COP는 3.51로 분석되었으며, 평균적으로 3.19로 분석되었다.
- 지열 인큐베이터 돈사 내부의 평균 온도 측정 결과이다. 인큐베이터 돈사 내부온도는 2주 동안 24시간 기록되었으며, 8시를 기점으로 주간과 야간으로 나누었다. 온도측정 위치는 상단부와 하단부로 나누어 측정되었으며, 돈사별로 6곳에서 측정하였다. 주간의 경우 상단부 온도는 대조구에서 27.13~27.83℃를 보였으며, 평균적으로 27.42℃가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 27.43~27.77℃를 보였으며, 평균적으로 27.54℃가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 지열 인큐베이터 돈사에서 0.12℃ 높게 나타났다. 하단부 온도는 대조구에서 27.19~27.72℃를 보였으며, 평균적으로 27.42℃가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 27.35~27.84℃를 보였으며, 평균적으로 27.55℃가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 지열 인큐베이터 돈사에서 0.13℃ 높게 나타났다. 주간의 평균 돈사 내부 온도는 대조구 27.42℃, 지열 인큐베이터 돈사에서 27.55℃로 나타나 지열 인큐베이터 돈사에서 0.13℃ 높게 나타났다. 야간의 경우 상단부 온도는 대조구에서 26.38~27.11℃를 보였으며, 평균적으로 26.73℃가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 26.15~26.73℃를 보였으며, 평균적으로 26.46℃가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 대조구에서 0.27℃ 높게 나타났다. 하단부 온도는 대조구에서 26.57~27.07℃를 보였으며, 평균적으로 26.85℃가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 26.08~26.87℃를 보였으며, 평균적으로 26.59℃가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 대조구에서 0.26℃ 높게 나타났다. 주간의 평균온도는 대조구 26.79℃, 지열 인큐베이터 돈사에서 26.53℃로 나타나 대조구에서 0.26℃ 높게 나타났다.
- 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 조사결과는 다음과 같다. 0~1주차의 경우 대조구에서 324.7 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 119.1 kWh으로 63.32% 감소되었다. 1~2주차의 경우 대조구에서 256.5

kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 111.0 kWh으로 56.73% 감소되었다. 2~3주차의 경우 대조구에서 449.2 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 127.7 kWh으로 71.57% 감소되었다. 전체적인 합계은 대조구 1,030.4 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 357.8 kWh으로 65.28% 감소되었다.

■ 에너지 저감형 돈사 모델의 최적 운영방안에 대한 연구

- 지열난방시스템 성능분석 결과는 그림 1~3으로 나타내었다. 지열히트펌프는 배출온도는 평균적으로 44.08~44.26 °C로 일정한 온수를 배출하였으며, 지열히트펌프로 인입되는 물의 온도는 평균적으로 15.19~18.46 °C로 측정되었다. 지열히트펌프를 통해 데워진 온수와 돈사 내부의 난방을 하고 되돌아 온 온수의 온도차이는 평균적으로 25.80~28.89 °C차이를 보였다. 지열히트펌프와 내부 팬코일유닛 장치의 전기사용량을 측정된 결과 평균적으로 39.91~44.59 kWh/1주일의 전기를 사용하였다. 지열히트펌프의 난방지수를 분석한 결과 평균적으로 4.40~4.51로 일정한 난방지수를 보여주어 시스템은 안정적으로 작동하고 있음을 확인하였다.

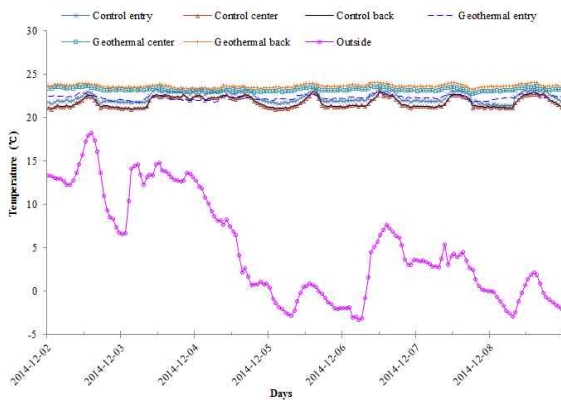


그림 1. 지열 성능 분석
(2015년 12월 2일 ~ 2015년 12월 8일)

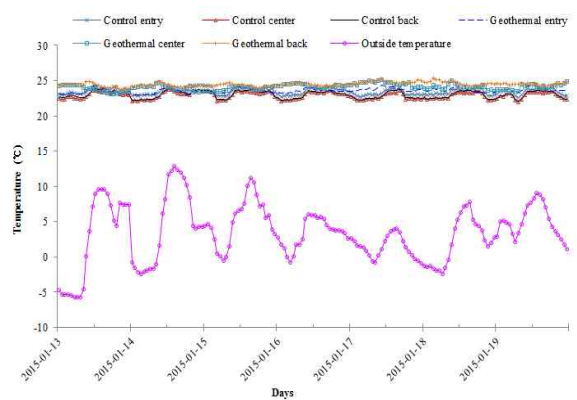


그림 2. 지열 성능 분석
(2016년 1월 13일 ~ 2016년 1월 19일)

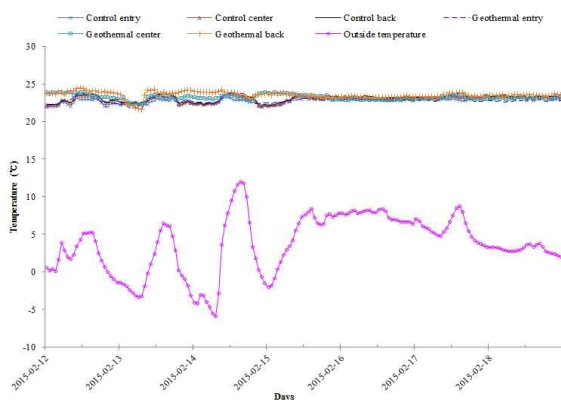


그림 3. 지열 성능 분석
(2016년 2월 12일 ~ 2016년 2월 18일)

- 자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정결과는 다음과 같다. NH₃ (암모니아)는 대조구에서 18.59 ppm으로 측정되었으며, 지열 돈사에서는 8.00 ppm으로 측정되었다. H₂S (황화수소)는 대조구에서 0.25 ppm으로 측정되었으며, 지열 돈사에서는 0.13 ppm으로 측정되었다. SO₂ (이산화황)은 대조구에서 0.89 ppm으로 측정되었으며, 지열 돈사에서는 0.73 ppm으로 측정되었다. 지열 난방시스템을 활용 시 돈사 내부의 악취가스가 저감되는 결과가 나타났다. Choi 등 (2010)은 지열난방시스템은 돈사에 암모니아 등의 유해가스를 희석하여 신선한 공기를 공급하여 공기의 질을 개선한다고 보고하였다.
- 지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 결과는 다음과 같다. 2014년 12월 2일 ~ 2014년 12월 8일 전기사용량은 대조구에서 570.4 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 312.1 kWh 사용으로 45.28% 감소되었다. 2015년 1월 13일 ~ 2015년 1월 19일 전기사용량은 대조구에서 536.7 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 289.4 kWh 사용으로 46.08% 감소되었다. 2015년 2월 12일 ~ 2015년 2월 18일 전기사용량은 대조구에서 515.0 kWh, 지열 인큐베이터돈사 279.4 kWh 사용으로 45.75% 감소되었다. 2015년 3월 6일 ~ 2015년 3월 12일 전기사용량은 대조구에서 733.1 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 302.6 kWh 사용으로 58.72% 감소되었다. 2015년 4월 14일 ~ 2015년 4월 20일 전기사용량은 대조구에서 272.5 kWh, 지열 인큐베이터돈사 184.7 kWh 사용으로 32.22% 감소되었다. 2015년 5월 5일 ~ 2015년 5월 11일 전기사용량은 대조구에서 178.8 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 145.0 kWh 사용으로 18.90% 감소되었다. 2015년 11월 1일 ~ 2015년 11월 30일 전기사용량은 대조구에서 1,506.7 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 896.5 kWh 사용으로 40.50% 감소되었다. 2015년 12월 1일 ~ 2015년 12월 31일 전기사용량은 대조구에서 2,712.5 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 1,514.4 kWh 사용으로 44.17% 감소되었다. 시험 전체기간의 전기사용량은 대조구에서 7,025.7 kWh, 지열 인큐베이터돈사 3,924.1 kWh 사용으로 44.15% 감소되었다.
- 지열 시스템 인큐베이터 돈사의 경제성 분석결과는 다음과 같다. 대조구 돈사의 설치비용은 4,419.41 USD이며, 지열 돈사의 설치비는 17,677.35 USD로 추정되었다. 내구연한은 대조구는 5년이지만, 지열시스템의 Ground loop는 50년 이상, Heat pump는 25년 이상으로 되어있다. 매년 가동시 소요되는 비용은 대조구 돈사는 216.14 USD, 지열 돈사는 48.46 USD로 계산되었다. 감가상각 분석결과는 대조구는 5년, 지열 돈사는 25년을 사용해야 수익이 발생하기 시작한다.
- 태양열시스템 난방지수 분석결과는 다음과 같다. 외부온도는 12월 (1주일)에는 평균 0.06°C, 1월 (1주일)에는 2.58°C, 2월 (1주일)에는 10.45°C로 12~1월까지 추운 온도를 보였다. 태양강도는 평균적으로 12월 (1주일)에는 평균 946.42 W/m², 1월 (1주일)에는 1,262.23 W/m², 2월 (1주일)에는 966.05 W/m²로 분석되어 겨울철에는 날씨의 영향이 미치는 것으로 분석된다. 집열기효율은 61.36~65.13%의 효율이 측정되었다. 에너지 생산량은 122.17~168.71 kWh/m²/day로 분석되었다. 난방지수는 12월 (1주일)에는 평균 4.58, 1월 (1주일)에는 4.61, 2월 (1주일)에는 4.48로 분석되어 성능은 비슷하게 분석되었다.
- 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 분석한 결과는 다음과 같다. 0~8주차의 실험기간 중 증체량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 24.41 kg으로 대조구 21.74 kg 보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 49.38 kg으로 대조구 46.24 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.13으로 태양열+지열 인큐베이터 돈사

2.02보다 높게 나타났다.

- 자돈 인큐베이터 돈사의 전기사용량 분석결과는 다음과 같다. 전기사용량은 대조구돈사는 12월 (1주일)에는 625.30 kWh, 1월 (1주일)에는 552.00 kWh, 2월 (1주일)에는 730.00 kWh를 측정되어 1,907.30 kWh를 사용하였다. 태양열+지열돈사는 12월 (1주일)에는 325.50 kWh, 1월 (1주일)에는 318.60 kWh, 2월 (1주일)에는 292.90 kWh를 측정되어 937.000 kWh를 사용하였다. 결과적으로 태양열+지열 돈사에 서는 대조구 돈사에 비해서 970.30 kWh (약 51%)의 전기사용량을 절감하는 결과가 나타났다.
- 자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정결과는 다음과 같다. NH₃ (암모니아)는 대조구에서 8.0~10.0 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 1.5~3.0 ppm으로 측정되었다. H₂S (황화수소)는 대조구에서 2.0~2.5 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 0.2~0.5 ppm으로 측정되었다. SO₂ (이산화황)은 대조구에서 0.4~0.5 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 0.1 ppm으로 측정되었다. 태양열+지열 난방시스템을 활용시 돈사 내부의 악취가스가 저감되는 결과가 나타났다.
- 태양열+지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 결과는 다음과 같다. 2014년 12월 14일 ~ 2014년 12월 20일 전기사용량은 대조구에서 625.3 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사에서 297.5 kWh 사용으로 52.42% 감소되었다. 2015년 1월 5일 ~ 2015년 1월 11일 전기사용량은 대조구에서 582.0 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사에서 143.6 kWh 사용으로 75.33% 감소되었다. 2015년 3월 14일 ~ 2015년 3월 20일 전기사용량은 대조구에서 681.0 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사 292.9 kWh 사용으로 56.99% 감소되었다. 2015년 5월 14일 ~ 2015년 5월 31일 전기사용량은 대조구에서 1,144.4 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사 556.2 kWh 사용으로 51.40% 감소되었다. 2015년 6월 1일 ~ 2015년 6월 30일 전기사용량은 대조구에서 1,256.7 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사 769.9 kWh 사용으로 38.74% 감소되었다. 시험 전체기간의 전기사용량은 대조구에서 4,289.4 kWh, 지열 인큐베이터돈사 2,060.1 kWh 사용으로 51.97% 감소되었다.

3. 제 2협동 결과

- 본 보고서는 밀폐 비육돈사의 악취저감을 위한 BF시스템 개발에 관한 것이다. 1차년도는 현장에서의 양돈악취의 심각성을 이해하기 위하여 현장조사를 실시하였다. 이를 통해 비육돈이라 하더라도 돼지가 얼마나 심각한 악취 등의 오염물질과 미기상에 관련된 환경위해물질에 노출되어 있는지도 인식하게 되었다.
- 본 연구의 1차년도 에서는 돈사 내 미기상 변수(온도, 습도, 유속)와 먼지, 부유병원성균, 악취 및 온실가스 (GHOG)의 상관성을 평가·분석하였다. 두 극단 기상조건(여름, 겨울)에서 우리나라 전역에 산포된 12개 양돈장을 대상으로 미기상 변수, 악취 및 먼지, 병원성균 등의 자료를 수집하였다.
- 돈사에 대한 온도, 습도 유속 등의 미기상 자료와 여타 변수자료는 자연환기시스템 양돈장, 강제환기시스템 양돈장을 대상으로 10:00AM~11:00AM에 현장수행 하였다. 또한 돈사 내 악취에 대한 정보도 수집하였다. 주요 volatile organic compounds

(VOCs)들 즉, sulfides, indolics, phenolics, volatile fatty acids (VFA) 등 악취농도와 미기상변수 간 상관성을 검정하였다. 악취화합물, 즉, Dimethyl sulfide (DMS), Dimethyl disulfide (DMDS), indole, p-cresol, volatile fatty acids (VFAs) 즉, acetic acid (AA), butyric acid (BA), iso-butyrac acid, valeric acid (VA), propionic acid (PA), iso-valeric acid (iVA) 등의 농도를 분석하였다.

- 비매개변수 상관성분석에서 계절 간 미기상(微氣象)변수와 부유물질 간의 상관성을 분석을 수행한 결과, 여름과 겨울 공히 미기상변수와 악취 간 부(負)의 유의적($P < 0.05$)인 상관성을 보였다. 나아가 유속과 입자성 물질인 PM10, PM7, TSP (total suspended particles) 간의 관계도 유의적 ($P < 0.05$)으로 부의 상관성을 보였다. 이는 돈사 내 환기율이 클 경우 유속이 높아지므로 스칼라양인 악취나, 먼지를 상대적으로 크게 희석시켜 농도를 저하시키기 때문에 부(負)의 상관성을 가지는 것으로 판단된다.
- 한편 coliform bacteria의 온도에 대한 민감성 때문에, 온도와 total coliform, *Escherichia coli* counts간 매우 유의적(有意的)으로 ($P < 0.01$) 정(正)의 상관관계를 보였다. 질병에 취약한 자돈의 경우, 이유자돈사내 부유물질을 제어하여 질병에 노출된 가능성을 줄이는 일은 매우 중요한 일이다. 그러므로 본 연구의 결과로 도출한 돈사의 관리지침은 양돈에 길잡이가 될 수 있다.



[그림 4] A 양돈장 외형 & 양돈장 내부 피트돈방 (1차년도 현장 양돈장의 실상도 , 2012~2013)



[그림 5] B 양돈장 외형 & 내부 톱밥발효돈사 (1차년도 현장 양돈장의 실상도 , 2012~2013)

- 또한 1차년도 하반기는 2차년도 약취저감 실증실험을 위한 pilot BF 설계, 제작을 수행하였다. 본 연구의 수행결과에서 서술한 바와 같이 밀폐 비육돈사의 약취저감을 위한 BF에 대한 설계지침을 제시하였다.



[그림 6] 수원 부속목장에 입지한 BF system 실상도

- 본 연구의 BF시스템은 밀폐 비육돈사의 약취를 저감하기 위한 장치로 수원 부속목장에 입지하였다. BF는 기본적으로 난류균배 다공막, 10mm 두께의 2개의 cellulose pad와 물재순환 dripping system, 유속, 정압차, 습도, 온도 등을 감지할 수 감응센서와 data logger 등으로 구성되어 있다. 또한 이들 기기 및 재순환수를 모니터링할 수 있는 모니터도 함께 장착되어 BF의 약취와 온실가스 농도의 저감을 분석하였다.
- BF에 대한 약 100일간의 현장실증실험에서 AA의 저감율은 90~95% (4.18 ppbv @

exit) 이르며, BA 는 95~99% (7.83 ppbv @exit), PA \geq 99 % (0.96 ppbv @ exit), VA는 80~90% (1.03 ppbv @exit), iBA 80~90% (1.6ppbv @ exit), Ammonia \geq 80 % (final day concentration was 1 ppm after biofilter), Mercaptan Methanol (MM) \geq 60% (7.1 ppbv @exit), Dimethyl Sulphide(DMS) \geq 60% (1.2 ppbv@exit), Dimethyle Disulphide (DMDS) \geq 80% (0.1ppbv@exit), Carbon dioxide 10~50% (700 ppm @exit). 본 연구 수행시 Hydrogen sulphide, p-cresole, indole, skatole, methane 등은 측정되지 않았다.

- 본 연구의 3차 년도에서 공기의 질과 스트레스 홀몬과의 상관성 연구를 수행한 결과 공기질과 홀몬은 유의적인 상관성을 보였다. 이는 기본적으로 환기조건과 밀접한 관계가 있는 듯하다. 왜냐하면 적정 실내환경에서는 돼지의 생산성이 높게 나타났기 때문이다. 양호한 실내환경은 돼지 뿐만 아니라 실내 작업자에게도 긍정적인 영향을 미친다.

4. 제 3협동 결과

- 더위 스트레스를 많이 받는 여름철에 임신 중 개별 스톨 시설에서 사육된 분만모돈들의 평균산자수와 평균이유두수보다 임신 중 Shoulder length barrier 시설에서 사육된 분만모돈들의 평균산자수와 평균이유두수가 높게 나타났다($p < 0.05$). 두 시설에서 각각 사육된 분만모돈들 간에 질병적 관점에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 하절기에 스트레스가 개별 스톨 시설에서 사육된 분만모돈들보다는 임신 중 Shoulder length barrier 시설에서 사육된 분만모돈들에게 적게 가해지는 것으로 나타났다. 결론적으로 임신돈사에서 임신 중에 개별 스톨 시설보다는 Shoulder length barrier 시설에서 사육하는 것이 좋은 것으로 판단되었다.
- 분만돈사에서 계절 및 시설에 상관없이 상대습도, 풍속 및 암모니아 농도는 적정범위 내에 모두 포함되어 이들 요소가 분만모돈의 생산성과 스트레스 등에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었으나, 온도의 경우 봄, 가을 및 겨울에는 상한임계온도로 나타났으나 여름에는 이보다 훨씬 높게 나타났기 때문에 여름철 온도가 분만모돈의 생산성과 스트레스에 악영향을 미친 것으로 판단되었다. 동일 계절에서 임신사의 사육 시설 (개별 스톨 시설, Shoulder length barrier 시설) 간의 분만모돈의 생산성은 차이가 없었다($p > 0.05$). 결론적으로 임신사의 사육 시설이 분만모돈의 생산성에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.
- 겨울과 봄에 비하여 여름에 이유자돈사와 육성돈사 내부의 온도와 상대습도가 높았으며, 이것이 더위 스트레스를 유발시켜 이유자돈과 육성돈의 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다. 또한 이유자돈과 육성돈은 계절에 상관없이 사육밀도가 높아짐에 따라(이유자돈의 사육밀도 : 저밀도 - 0.45m²/hd, 중밀도 - 0.35m²/hd, 고밀도 - 0.25m²/hd; 육성돈의 사육밀도 : 저밀도 - 0.6m²/hd, 중밀도 - 0.5m²/hd, 고밀도 - 0.4m²/hd) 편안하게 쉬는 행동이나 먹는 행동을 덜 나타내었으며, 이것이 결과적으로 이유자돈과 육성돈의 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다. 이유자돈과 육성돈은 계절에 상관없이 사육밀도가 높아짐에 따라 종료체중과 일당증체량이 줄어드는 결과를 나타내었다($p < 0.05$). 따라서 이유자돈과 육성돈의 경우 적정밀도로 사육하는 것이 중요하며, 특히 여름에는 더위 스트레스를 고려하여

사육밀도를 낮춰 사육하는 방안을 고려해볼 필요가 있는 것으로 판단되었다.

- 동물의 스트레스 반응은 개체, 환경, 유전요인, 환경조건, 사육 밀도 등에 의해 영향을 받게 되며, 최초 스트레스의 활성화는 체내 호르몬의 활성화 및 억제에 의해 발현된다. 이러한 현상은 corticotropin 분비 호르몬과 급성 스트레스가 부신피질 세포 내 steroidogenesis 반응에 의해 분비되는 ACTH와 같은 호르몬이 분비되어 혈중 glucocorticoids의 농도 상승을 유도하는 것으로 규정된다.
- 본 연구에서 수행된 분만 모돈의 스트레스 호르몬 분석에서는 혈중 cortisol levels이 사육환경 즉, SLB(shoulder length barrier) 시설과 일반 stall사에서 차이를 확인해 보았다. 그 결과 봄철에 SLB에서 혈중 cortisol level이 약간 증가하였고, 그 외 여름, 가을 및 겨울에서는 일반 stall사와 비교하여 감소함이 확인되었다. 그러나, 통계적인 유의성은 확인되지 않았다. 또한, 낙하세균 검사에서는 두 돈사 모두에서 유사한 결과를 보였으며, 혈중 호흡기 항체가의 분석에 있어서 PRRS, atrophic rhinitis, Actinobacillus pleuropneumonia 2 및 5의 혈중 항체가에 차이가 없음이 확인되었다.
- 또한, 임신 모돈의 스트레스 호르몬 분석에서는 혈중 cortisol levels이 사육환경 즉, SLB(shoulder length barrier) 시설과 일반 stall사에서 차이를 확인해 보았다. 그 결과 분만돈사와 마찬가지로 봄철에 SLB에서 혈중 cortisol level이 약간 증가하였고, 그 외 여름, 가을 및 겨울에서는 일반 stall사와 비교하여 감소함이 확인되었다. 임신 모돈의 경우도 분만 모돈의 결과와 마찬가지로 통계적인 유의성은 확인되지 않았다. 또한, 낙하세균 검사에서는 두 돈사 모두에서 유사한 결과를 보였으며, 혈중 호흡기 항체가의 분석에 있어서 PRRS, atrophic rhinitis, Actinobacillus pleuropneumonia 2 및 5의 혈중 항체가에 차이가 없음이 확인되었다.
- 양돈장의 사육밀도는 양돈 생산성과 돼지의 스트레스에 매우 중요한 요소 중 하나이다. 본 연구는 이유돈과 육성돈에 대하여 사육밀도를 달리하여 (이유돈의 사육밀도 : 저밀도 - 0.45m²/hd, 중밀도 - 0.35m²/hd, 고밀도 - 0.25m²/hd; 육성돈의 사육밀도 : 저밀도 - 0.6m²/hd, 중밀도 - 0.5m²/hd, 고밀도 - 0.4m²/hd) 사육한 후 채혈을 통해 사육밀도가 돼지의 스트레스에 미치는 영향을 분석하였다. 이유돈의 경우 혈중 cortisol level은 저밀도에서 사육된 돼지가 중밀도 및 고밀도에서 사육한 돼지에 비해 혈중 cortisol level이 저하된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 측정된 계절 모두에서 동일한 패턴을 보였으나, 통계적인 유의점은 확인되지 않았다. 육성돈의 경우에 있어서도 이유돈과 유사한 혈중 cortisol level을 보여 저밀도 사육이 중밀도 및 고밀도 사육에 비하여 스트레스 저감에 영향을 미치는 요인임을 확인하였다. 그러나, 혈중 cortisol level의 변화는 통계적인 유의점이 확인되지 않을 정도를 보였다. 이에 더하여 본 연구에서 수행된 이유돈 및 육성돈에서의 낙하세균과 혈중 호흡기 질병 항체가의 분석에 있어서도 밀도차에 따른 차이점은 확인되지 않아, 비슷한 조건에서의 연구 실험임을 입증하였고, 사육밀도가 이유돈 및 육성돈의 면역반응에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

VI. 연구성과 및 성과활용 계획

가. 기술적 성과

- 솔더 시스템을 통하여 군사 사육이 가능한 것을 검증하였고 또한 군사 사육시 섬유소의 추가적인 급여를 통하여 모돈의 스트레스를 최소화하고 경제적 수명을 향상시키는 기술을 개발하게 됨.
- 에너지 저감형 돈사 모델 개발을 위하여 태양열난방시스템과 지열냉·난방시스템을 활용하였음
- 태양열시스템과 지열냉·난방시스템을 활용하여 돈사 내부의 온도를 제어할 수 있는 기술력과 돈사 내부의 환경을 개선시키는 기술력을 보유하게 됨
- 태양열시스템의 경우 외부 날씨의 영향을 많이 받아 취약한 점이 있지만, 일반적인 날씨상황을 고려하면 에너지 절감효과를 확인함
- 지열냉·난방시스템은 태양열시스템과 달리 외부 날씨의 영향을 미치지 않으며, 1년 사계절 내내 일정한 온도를 유지하면서 에너지 절감효과를 확인함
- 돈사관리자가 적절한 바이오필터 환경(내부온도, 유량, 습도, 순환수 pH)만 조성해 준다면 손쉽게 이러한 미생물 군단을 형성할 수 있어 높은 가격의 덴마크와 네덜란드 제품 전 재료를 수입해야하는 번거로움으로 벗어날 수 있는 기술력을 보유하게 됨.
- 임신돈사에서 임신 중에 개별 스톨 시설보다는 Shoulder length barrier 시설에서 사육하는 것이 좋은 것으로 나타남
- 임신사의 사육 시설이 분만모돈의 생산성에 영향을 미치지 않음
- 이유자돈과 육성돈의 경우 적정밀도로 사육하는 것이 중요하며, 특히 여름에는 더위 스트레스를 고려하여 사육밀도를 낮춰 사육하는 방안을 고려해볼 필요가 있음

나. 과학적 성과

- 특허 실적 : 출원 5건, 등록 7건
- 논문 실적 : SCI 9건, 비SCI 8건
- 학술대회 실적 : 국제학술대회 발표 6건
- 홍보 실적 : 월간잡지 8건
- 기타 실적 : 강의 실적 11건

다. 경제적 성과

- 모돈의 4산차 이후 경제적 수명의 증가를 통하여 모돈 두당 자돈 생산두수를 10~20두 증가시키므로써 약 36~72만원 (1000두 미만 사육규모 농가 비육돈 두당 순수익 : 36,000원, 통계청 2015)의 경제적 이익을 증가시킴
- 신재생에너지 (태양열 및 지열)시스템을 설치하는데 비용이 많이 소요되어 가정용 설치시에도 정부보조금이 지급되고 있음
- 신재생에너지시스템을 초기 설치시 설치비용은 많이 소요 되나 운영하면서 유지비는 거의 소요되지 않음
- 태양열난방시스템은 전문업체가 아니더라도 일반사용자도 설치할 수 있어 설치비용을 15% 절감할 수 있음
- 지열냉·난방시스템은 지열히트펌프용량과 돈사규모에 따라 결정되어 비용이 많이 발생할 수 있으나 적정규모의 지열히트펌프를 사용하면 비용을 절감할 수 있음
- 태양열난방과 지열난방시스템을 활용하면 돈사 내부의 환경개선효과가 있어 생산성을 10%이상 향상시키는 효과가 있음

- 돈사악취제거의 일반적 접근으로 악취제거효율이 높은 물리적/화학적 방법이 있지만 수리·유지비가 많이 든다는 단점이 존재함. 대체방법으로 생물학적 처리방법 중 하나인 바이오필터가 제시됨. 바이오필터의 초기시설비, 설치비, 운영비 등은 종류에 따라 다르게 책정될 수 있음.
- 초기시설비: 팬, 미디어, 환기구, 합판 등의 재료비로 구성
- 설치비: 인건비, 장비대여비(일반적으로 건물에 환기목적으로 사용되는 수직형 바이오필터 시설 가격은 32만원~42만원/CMM에 해당하며 수직형 바이오필터는 수평형 바이오필터보다 약 1.5배 적은 비용을 차지)
- 바이오필터의 연간 수지유리비: 1만원~2.2만원/CMM; 전력비, 미디어 교체비용 포함 (2~3년 주기로 교체, 돼지 사육두수, 사료급여방법, 분뇨관리에 따라 교체시기 상이함)
- 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발하고 제안함으로써 앞으로 돼지의 복지 수준을 향상시킬 뿐만 아니라 생산성 향상에도 기여할 것으로 판단됨

라. 사회적 성과

- 국내 중소 농가에서도 동물복지를 위한 군사사육의 가능성 확대
- 소비자에 동물복지 사육을 통한 건강한 축산물의 공급
- 동물복지 사육을 통한 국가 위신의 향상
- 전기사용량을 감소시킴으로써 국내 전기사용량을 절감시켜 전기생산시 나오는 CO2 배출량을 감소시킬 수 있음
- 전기사용량 감소로서 양돈농가의 생산비를 절감시킬 수 있는 계기를 마련
- 태양열과 지열을 활용함으로써 돈사내부의 환경을 개선시켜 환기량을 줄임으로써 악취가스를 외부에 노출이 적게되어 지역주민간의 민원도 해결할 가능성을 보여줌
- 지역의 민원대상인 획기적 GHOG 농도저감으로 축산에 대한 적대적 감정해소 가능성을 보여줌
- 우리나라 농업생산의 40% 이상을 점하는 부가가치적 축산을 '유해적' → '무해적'으로 전환함으로써 지속축산 기반마련의 계기
- 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발하고 제안함으로써 양돈산업에 대한 이미지를 제고하는 데 기여할 것으로 판단됨

SUMMARY

(영문요약문)

1. 제 1 세부

- This report included the three years of researches on housing management system and feeding management for the purpose of improving sow growth performance, reproductive performance, and piglet performance from parity 1 to 6. In each parity, we collected the data from each sow to analyze to know which management is better for the sows.

- EXP. 1: Effect of different housing management system in sows

- We allotted 90 multiparous sows (Landrace × Yorkshire) to three housing system: 1) CON (Stall management system), 2) GM (Group management system), and 3) SM (Shoulder management system). Each system contained 30 sows, and started at 3 weeks after breeding, finished at the next breeding. All sows were given the same amount of feed during gestation and had ad libitum access to feed during lactation.

- We recorded individual sow daily feed intake to calculate average daily feed intake, checked individual sow bodyweight and scanned for backfat thickness 3 days before farrowing, a few hours after farrowing and on weaning day to determine weight and backfat loss. The backfat thickness of the sows (6 cm off the midline at the 10th rib) was measured using a real-time ultrasound instrument (Piglot 105; SFK Technology, Herlev, Denmark). During experimental period, numbers of piglets alive and death per litter were recorded to calculate survival ratio, and numbers of piglets stillborn were also recorded. Individual pig weight was recorded at birth, week 1, week 2, week 3, and weaning to determine average daily gain. After farrowing, daily feed allowance increased 1 kg/day until day 6 postpartum, and then sows were ad libitum access to feed and water. During lactation, feed consumption was recorded for each sow to calculate average daily feed intake. After weaning, weaning to estrus interval was recorded for each sow.

- We collect blood from sows on d 50 and 108 of lactation, weaning, and from piglets on weaning day. Blood samples were collected from the jugular vein into non-heparinized vacuum tubes (Becton Dickinson Vacutainer Systems, Franklin Lakes,

NJ, USA) of each sow at the same time of the day. Blood samples were collected before meals and after removal of piglets. After collection, the serum samples were centrifuged ($3000 \times g$) for 30 min at 4°C and stored at -20°C until being used in cortisol, norepinephrine and epinephrine analysis. Serum concentrations of cortisol were determined with a standardized solid phase radioimmunoassay kit (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, CA, USA). The norepinephrine and epinephrine were assayed using an ionexchange purification procedure followed by liquid chromatography with electrochemical detection, as described previously by Hay and Mormède (1997). In brief, the samples were loaded onto cationic columns and the catecholamines were eluted with boric acid. The eluates were assayed via HPLC with electrochemical detection with an oxidizing potential of +0.65V. The intra- and inter-assay coefficients of variation (CV) were 7.0% and 7.1% for norepinephrine and 6.5% and 11.6% for epinephrine, respectively.

- Subjective diarrhea scores of piglets were recorded daily from day 0 to weaning by the same person and were based on the following: 1=hard, dry pellets in a small, hard mass; 2=hard, formed stool that remains firm and soft; 3=soft, formed, and moist stool that retains its shape; 4=soft, unformed stool that assumes the shape of the container; 5=watery, liquid stool that can be poured. Scores were recorded on a pen basis following observations of individual pig and signs of stool consistency in the pen. The score is reported as average daily diarrhea of individual pig score.
- Fresh feces samples were collected randomly from at least 2 piglets (1 gilt and 1 barrow) in each sow pen on the last 2 d of the experiment. Fresh feces were collected directly via massaging the rectum. Fecal samples collected in each pen within the same treatment were pooled and placed on ice for transportation to the laboratory where analysis was immediately carried out. One gram of the composite fecal sample from each pen for fecal microbial flora was diluted with 9 mL of 1% peptone broth (Becton, Dickinson and Co.) and then homogenized. Viable counts of bacteria in the fecal samples were then conducted by plating serial 10-fold dilutions (in 1% peptone solution) onto MacConkey agar plates (Difco Laboratories, Detroit, MI) and lactobacilli medium III agar plates (Medium 638; DSMZ, Braunschweig, Germany) to isolate the *Escherichia coli* and *Lactobacillus*, respectively. The lactobacilli medium III agar plates were then incubated for 48 h at 39°C under anaerobic conditions. The MacConkey agar plates were incubated for 24 h at 37°C. The *Escherichia coli* and *Lactobacillus* colonies were counted immediately after removal from the incubator.
- All data were analyzed by using the GLM procedure in a completely randomized block design with the SAS software program (SAS Institute, 2001). Differences among all treatments were separated by Duncan's multiple range test. Results were expressed as the least squares means and SE.

- In parity 1
- Sows in Group and Shoulder system had less bodyweight loss (from after farrowing to weaning), stillbirth piglets, higher born and weaned piglets compared with sows in Stall system. Sows in Group and Shoulder system had lower cortisol, epinephrine and norepinephrine concentration than those in Stall system on d 50 and 108 of gestation. There was no difference on piglet growth performance, fecal score, microflora, and sow rectum temperature among these three different housing system. The results indicated that in parity 1, Group and Shoulder system are good for sow reproductive performance and can relieve stress during gestation, but do not have effect on piglet performance, fecal score and microflora.

- In parity 2
- Sows in Group and Shoulder system had less bodyweight loss (from after farrowing to weaning), backfat thickness loss (from after farrowing to weaning), higher born and weaned piglets compared with sows in Stall system. Piglets in Group and Shoulder system had higher bodyweight at week 3 and weaning day, as well as higher average daily gain during week 2 to 3, week 3 to weaning day, and the overall lactation period compared with those in Stall system. Sows in Group and Shoulder system had lower cortisol, epinephrine and norepinephrine concentration than those in Stall system on d 50 and 108 of gestation. Additionally, lower cortisol concentration on weaning day was observed in Shoulder system sows compared with Stall system sows. There was no difference on piglet fecal score and sow rectum temperature among these three different housing system. The results indicated that in parity 2, Group and Shoulder system are good for sow reproductive performance and piglet growth performance, and can relieve sow stress during gestation, but do not have effect on piglet fecal score.

- In parity 3
- Sows in Group and Shoulder system had less bodyweight loss (from after farrowing to weaning), stillbirth piglets, higher born and weaned piglets compared with sows in Stall system. Sows in Group and Shoulder system had lower cortisol, epinephrine and norepinephrine concentration than those in Stall system on d 50 and 108 of gestation. Additionally, lower cortisol and norepinephrine concentration on weaning day was observed in Group and Shoulder system sows compared with Stall system sows. Piglets in Shoulder system had lower fecal score on d 14 compared with those in Stall system. There was no difference on piglet fecal microflora and sow rectum temperature among these three different housing system. The results indicated that in parity 3, Group and Shoulder system are good for sow reproductive performance, and can relieve sow stress during gestation, but do not have effect on piglet fecal microflora.

- In parity 4
- Sows in Group system had higher bodyweight before farrowing, after farrowing, and weaning than those in Stall and Shoulder system. Sows in Stall and Group system had less bodyweight loss (from before farrowing to after farrowing and from after farrowing to weaning), higher average daily feed intake compared with sows in Shoulder system. Backfat thickness loss (from after farrowing to weaning) was lower in Group and Shoulder system compared with sows in Stall system. Piglets in Group and Shoulder system had higher bodyweight at week 1, week 2, week 3 and weaning day, as well as higher average daily gain during birth to week 1, week 1 to 2, week 2 to 3, week 3 to weaning day, and the overall lactation period compared with those in Stall system. Sows in Group and Shoulder system had lower cortisol, epinephrine and norepinephrine concentration than those in Stall system on d 50 and 108 of gestation. Additionally, lower sow cortisol and norepinephrine concentration on weaning day, and lower piglet norepinephrine concentration were observed in Group and Shoulder system compared with Stall system. There was no difference on piglet fecal score, microflora, and sow rectum temperature among these three different housing system. The results indicated that in parity 4, Group system is good for sow reproductive performance compared with Shoulder and Stall system. Group and Shoulder system are good for piglet growth performance, and can relieve sow stress during gestation and lactation, but do not have effect on piglet fecal score and microflora.

- In parity 5
- Sows in Group and Shoulder system had less stillbirth piglets compared with sows in Stall system. Piglets in Group and Shoulder system had higher average daily gain during lactation period. There was no difference on sow reproductive performance, rectum temperature, piglet growth performance, fecal score, microflora, and their cortisol, epinephrine, and norepinephrine concentration among these three different housing system. The results indicated that in parity 5, feeding sows and piglets in Stall, Group and Shoulder system had no difference in their performance.

- In parity 6
- Sows in Group and Shoulder system had less bodyweight before farrowing, after farrowing, weaning, and bodyweight loss (from after farrowing to weaning), higher average daily feed intake during lactation compared with sows in Stall system. Piglets in Group and Shoulder system had higher bodyweight at week 1, week 2, and week 3, as well as higher average daily gain during birth to week 1, week 1 to 2, and week 2 to 3 compared with those in Stall system. Sows in Group and Shoulder system had lower cortisol, epinephrine and norepinephrine concentration than those in

Stall system on d 50 and 108 of gestation. Additionally, lower norepinephrine concentration on weaning day was observed in Group and Shoulder system sows compared with Stall system sows. Piglets in Shoulder system had lower fecal score on d 14 compared with those in Stall system. There was no difference on piglet fecal microflora and sow rectum temperature among these three different housing system. The results indicated that in parity 6, Group and Shoulder system are good for sow reproductive performance, piglet growth performance, and can relieve sow stress during gestation, but do not have effect on piglet fecal microflora.

- Conclusion
- Group and Shoulder system are good for sow reproductive performance, piglet growth performance, and can relieve sow stress during gestation in any parity (1, 2, 3, 4, 6) except parity 5 compared with Stall system, but don't have effect on sow rectum temperature, piglet fecal score and microflora.
- EXP. 2: Effect of dietary fiber supplementation in sows
- We allotted 80 multiparous sows (Landrace × Yorkshire) to two dietary treatments: 1) CON (basal diet), and 2) F (basal diet + fiber). Each treatment contained 40 sows, and started at 3 weeks after breeding, finished at the next breeding. All sows were given the same amount of feed during gestation and had ad libitum access to feed during lactation.
- Material and methods are the same as EXP. 1
- In parity 1
- Piglets in Fiber treatment had higher average daily gain during week 2 to 3 compared with piglets in CON. Sows in Fiber treatment had lower norepinephrine concentration on d 50 of gestation, as well as lower cortisol and norepinephrine concentration on d 108 of gestation than those in CON treatment. There was no difference on sow reproductive performance, rectum temperature, piglet growth performance, fecal score, and microflora between the two treatments. The results indicated that in parity 1, dietary fiber can slightly decrease sow cortisol and norepinephrine concentration, and do not have effect on sow reproductive performance, piglet performance, fecal score, and microflora.
- In parity 2
- Sows in Fiber treatment had less bodyweight loss (from after farrowing to weaning) and backfat thickness loss (from after farrowing to weaning) than those in CON treatment. Piglets in Fiber treatment had higher bodyweight at weaning and average daily gain during week 3 to weaning and overall lactation period compared with piglets in CON. Sows in Fiber treatment had lower cortisol and norepinephrine

concentration on d 50 of gestation, as well as lower epinephrine concentration on d 108 of gestation than those in CON treatment. There was no difference on sow rectum temperature, piglet fecal score and microflora between the two treatments. The results indicated that in parity 2, dietary fiber had good effect on sow body condition, decrease cortisol and norepinephrine concentration, as well as improve piglet growth performance at weanling. Additionally, no effect was observed on sow rectum temperature, piglet fecal score, and microflora.

- In parity 3
- Piglets in Fiber treatment had higher average daily gain during week 3 to weanling compared with piglets in CON. Sows in Fiber treatment had lower norepinephrine concentration on d 50 of gestation, as well as lower cortisol, epinephrine, and norepinephrine concentration on d 108 of gestation than those in CON treatment. The results indicated that in parity 3, dietary fiber can decrease cortisol, epinephrine, and norepinephrine concentration at later gestation, as well as increase piglet average daily gain at weanling. No effect was observed on sow reproductive performance, rectum temperature, piglet fecal score, and microflora.

- In parity 4
- Sows in Fiber treatment had less backfat thickness loss (from after farrowing to weanling) than those in CON treatment. Piglets in Fiber treatment had higher bodyweight at weanling and average daily gain during birth to week 1 and overall lactation period compared with piglets in CON. Sows in Fiber treatment had lower cortisol and norepinephrine concentration on d 50 of gestation, as well as lower norepinephrine concentration on d 108 of gestation than those in CON treatment. There was no difference on sow rectum temperature, piglet fecal score and microflora between the two treatments. The results indicated that in parity 4, dietary fiber can decrease sow backfat thickness loss, cortisol and norepinephrine concentration, increase piglet growth performance at beginning and weanling. Additionally, no effect was observed on sow rectum temperature, piglet fecal score, and microflora.

- In parity 5
- Piglets in Fiber treatment had higher average daily gain during week 3 to weanling compared with piglets in CON. Sows in Fiber treatment had lower cortisol and epinephrine concentration on d 108 of gestation than those in CON treatment. There was no difference on sow reproductive performance, rectum temperature, piglet fecal score and microflora between the two treatments. The results indicated that in parity 5, dietary fiber can decrease sow cortisol and epinephrine concentration, as well as increase piglet average daily gain during week 3 to weanling. Additionally, no effect was observed on sow reproductive performance, rectum temperature, piglet fecal

score, and microflora.

- In parity 6
- Sows in Fiber treatment had lower cortisol, epinephrine, and norepinephrine concentration on d 50 of gestation, as well as lower cortisol and norepinephrine concentration on d 108 of gestation than those in CON treatment. There was no difference on sow reproductive performance, rectum temperature, piglet growth performance, fecal score, and microflora between the two treatments. The results indicated that in parity 6, dietary fiber can decrease sow cortisol, epinephrine, and norepinephrine concentration, thus relieve sow stress during gestation.
- Conclusion
- Dietary fiber can decrease sow cortisol, epinephrine, and norepinephrine concentration at any parity (1, 2, 3, 4, 5, 6), thus relieve sow stress during gestation, and fiber also had slightly good effect on growth performance in piglets, but do not have effect on sow reproduction performance, rectum temperature, piglet fecal score, and microflora.

2. 제 1 협동

The present study was conducted to evaluate the solar and geothermal heating technology as an alternative energy source to minimize the energy cost and reduce environmental pollution in pig production. Two consecutive experiments on solar and geothermal heating systems were conducted to measure growth performance, internal room temperature, energy consumption, CO₂ gas emission, systems performance and economic analysis for solar and geothermal technology in pig house. The results obtained from these studies summarized as follows:

The first, a nursery pig house with an active solar heating was evaluated for its ability to save energy and reduce environmental pollution. The system was installed in an experimental nursery pig house to evaluate the efficiency of an active solar heating system to save energy and reduce green house gas emission. The efficiency and output of the collector was calculated using the outside temperature, average collector temperature and solar radiation. The temperature and humidity in pig nursery room were similar to control and solar heating systems except that the bottom temperature at the center and back of the solar nursery was higher than the control room ($P < 0.05$). Piglets in the solar house had a slightly higher body weight and lower feed intake than the control house ($P < 0.05$). By using solar system the electricity consumption was reduced by 15% compared to the control. Due to the reduction in electricity use, the CO₂ production was reduced by 15% (137 kg), resulting in a savings of about 6,129.75 Korean Won (KRW)/2 weeks relative to the control. Overall, the results of this study indicate that active solar heating systems can successfully reduce energy use and CO₂ emission in pig house.

The Second, geothermal heating system in nursery pig house was applied to minimize electricity cost and reduce environmental pollution. The geothermal heating system was installed in an experimental nursery pig house to evaluate the efficacy of geothermal heating system and to minimize the energy cost as well as to reduce environment pollution by reducing greenhouse gas emission in pig house. The internal room temperature, coefficient of performance (COP) of geothermal heat pumps, piglets growth performance, energy consumption, CO₂ emission and economic status were investigated in this experiment. No significant variation was observed in internal room temperature during daytime ($P > 0.05$) between control and geothermal systems. However, room temperature at the center and back positions of upper level and center position of bottom level were significantly reduced in geothermal heating system ($P < 0.05$). A significant increased weight gain in piglets was found during 0~1 week period ($P < 0.05$), however no significant

variation was observed during 1~2, 2~3 and 0~3 week period ($P>0.05$). Over a 21-day period, significantly reduced the electricity use (about 672.6 kWh), CO₂ (44.39 kg) emission and electricity cost (about 14,528 KRW/3 weeks) which accounts for 65.28% reduction in geothermal heating system compared to control. Finally, the results of this study revealed that geothermal heating system is economically viable and environment friendly as well to improve pig performance compared to general electric system.

The third, an Apricus evacuated tubes solar system was installed in combination with a single loop geothermal heat pump (CSGHP) system at the experimental farm of Suncheon National University, Korea to evaluate its performance on electricity use, CO₂ and noxious gas emissions, as well as the associated cost savings. During the experimental period, energy consumption, room temperature and humidity, CO₂ and noxious gas emissions and costs were compared to an identical pig house with conventional electric heating. A significant increase in internal room temperature was observed in the CSGHP system compared to the conventional system ($P<0.05$). A substantial reduction in electricity use, CO₂ emissions and costs was achieved each week in the CSGHP system relative to the control house. Moreover, noxious gas emissions were reduced significantly in the CSGHP system ($P<0.05$). Overall, the results of this study indicate that the CSGHP system has the potential to reduce electricity use, CO₂ and noxious gas emissions and overall costs. Therefore, the CSGHP system has the potential for use as an environmentally friendly renewable energy source for animal houses.

However, further studies on solar and geothermal heating systems need to be conducted to evaluate their efficacy for long term assessment regarding green house gas emission and reduce energy cost.

Key words: Solar heating system, Geothermal heating system, Pig house, Growth performance, Energy saving, CO₂ emission, Economic analysis

3. 제 2 협동

- This report included the three years of research on pilot scale biofilter systems for the purpose of reducing odorous compounds from intensive swine production facilities. In the first year of study, we collected the field data from various intensive swine production facilities across Korea for different parameters to know the seriousness of the topic.
- During the first year of project, we carried out field data collection from intensive swine production facilities to assess the effect of microclimate (i.e., temperature, relative humidity, and air speed) on the quantity of particulate matter (PM), airborne bacteria, and green house and odorous gases (GHOG) in growing swine houses. Data were collected from 12 farms in different locations throughout South Korea during two seasons; farms are selected on the basis of ventilation system natural ventilation system and mechanical ventilation system; daily sampling times were from 10 am to 4 pm. This study has provided the valuable informations about the concentrations of key volatile organic compounds (VOCs), sulfides, indolics, phenolics and volatile fatty acids (VFA) emitted from growing swine house, and also assessed the effect of microclimate variables (including temperature, relative humidity and airspeed) on these. The odorous compound concentrations, such as dimethyl sulfide (DMS), dimethyl disulfide (DMDS), indole, p-cresol and all the volatile fatty acids i.e - acetic acid (AA), butyric acid (BA), iso - butyric acid, valeric acid (VA), Propionic acid (PA) and iso-valeric acid (IVA) were highest during the summer ($P < 0.01$). Overall, we found that the growing pigs are vulnerable to environmental risks associated with the microclimate variables and aerial contaminants.
- A non-parametric correlation analysis revealed correlations between microclimate variables and airborne contaminants in different seasons. In both seasons, negative correlations were observed between, air speed, and some odorous compounds ($P < 0.05$). Furthermore, negative correlations were observed between air speed, and relatively large airborne particulates, such as PM10 (PM mean aerodynamic diameter $\leq 10 \mu\text{m}$), PM7 (PM mean aerodynamic diameter $\leq 7 \mu\text{m}$), and total suspended particles ($P < 0.05$). One of the possible reason for these negative correlations is that increased ventilation at an increased room temperature could transfer the most of the airborne particulates carrying odorous compounds out of the growing houses. On the other hand, because of the sensitivity of coliform bacteria to temperature, positive correlations were observed between temperature and total coliform and *Escherichia coli* counts ($P < 0.01$). It is a challenging task to control the quantity of aerial contaminants in swine houses, and the

relationships observed in this study between the microclimate and airborne contaminants could be used to reduce the air borne contaminants in swine houses by controlling microclimate variables. The correlations established in the current study could also be helpful in establishing guidelines for good management practices in growing swine houses



Fig. 7 Outside and inside of farm A (Pictures taken during the field trip (1st YEAR REPORT 2012-2013)



Fig. 8 Outside and inside of farm B (Pictures taken during the field trip (1st YEAR REPORT 2012-2013)

- In the first year of study, we started the construction of bio-filter system. A pilot-scale biofilter system was designed, constructed and evaluated to determine its performance in second and third year. As a result of this research, a number of recommendations regarding the application of bio-filter systems to swine confinement buildings have been developed and are already presented in this third year report (part 2 and 3).



Fig. 9 Biofilter system installed at Suwon, SNU livestock farm, South Korea

- The bio-filtration system was used to treat odorous compounds derived from the swine confinement building, at Seoul National University livestock farm (Suwon, South Korea). This system comprises with a cellulose pad, water circulation system, data logger, and sensors to record the airspeed, pressure drop, humidity and temperature. It also includes a monitoring and water application system. We collected the odorous and green house gases to check the concentration and reduction efficacy of bio-filter system (detailed is presented in second and third year of report)
- We found that the reduction efficacy of this bio-filter system through out the 91 days of run was different for every odorous compounds. The reduction efficiency of Acetic acid was in between 90 - 95 % (final day concentration was 4.18 ppbv after biofilter), Butyric acid in between 95 - 99 % (final day concentration was 7.83 ppbv after biofilter), Propionic acid \geq 99 % (final day concentration was 0.96 ppbv after biofilter), Valeric acid in between 80 - 90 % (final day concentration was 1.03 ppbv after biofilter), Iso-butyric acid in between 80 - 90% (final day concentration was 1.6 ppbv after biofilter), Ammonia \geq 80 % (final day concentration was 1 ppm after biofilter), Mercaptan methanol \geq 60 % (final day concentration was 7.1 ppbv after biofilter), Dimethyl sulphide \geq 60% final day concentration was 1.2 ppbv after biofilter), Dimethyle disulphide \geq 80 % final day concentration was 0.1 ppbv after biofilter), Carbon dioxide in between 10-50% (final day concentration was 700 ppm after biofilter).



Fig. 10 Biofilter system installed at Suwon, SNU livestock farm, South Korea

- Hydrogen sulphide, p-cresole, indole, skatole and methane were not detected during the experiment. Iso-valeric acid showed no continuous reduction efficiency trend through out the experiment.
- Also, during the third year of study, we analysed the effect of biofilter system on animal health. Air quality correlation with stress hormone inside the swine house shows good results. This may be because of the proper ventilation condition. So during this research, we found that the maintenance of proper environment condition inside the swine confinement buildings improved the animal health and productivity. It provides the disease free environment to farm workers working in swine confinement buildings.

4. 제 3 협동

Average number of piglets born alive and average number of piglets weaned from pregnant sows reared in the shoulder length barrier were more than them from pregnant sows reared in the single stall in summer($p<0.05$). Pregnant sow groups reared under two different housing systems were not different in veterinary view, but in summer pregnant sows in the shoulder length barrier were less stressed by heat than pregnant sows in the single stall($p<0.05$). In conclusion, performance of the shoulder length barrier system was more excellent than that of the single stall system.

we investigated the performance of sows reared under two different housing systems : single stall - farrowing crate (SSFC) and shoulder length barrier - farrowing crate (SLBFC). Two groups of pregnant sows (30 sows \times 2 treatments \times 4 seasons = 240 sows) were housed in individual stalls (SSFC) and shoulder length barrier (SLBFC) for twelve weeks, respectively. All pregnant sows were then transferred to individual farrowing crates a week before parturition and were reared for four weeks. Average litter size, average birth weight, average litter weight, and body condition score (BCS) were measured and statistically compared using SPSS. Our results showed that there were no significant differences ($p>0.05$) on the farrowing performance of sows reared under SSFC and SLBFC. However, in this study, the welfare level of SLBFC is higher than that of SSFC. Therefore, we recommend that gestating sows must be housed in shoulder length barrier (SLBFC).

Indoor temperature and relative humidity in weaning piglet house and growing pig house in summer were higher than in winter and spring and these factors may have adversely effected performance of weaning piglets and growing pigs. Regardless of season, as stocking density was higher, weaning piglets(0.45m²/hd, 0.35m²/hd, 0.25m²/hd) and growing pigs(0.6m²/hd, 0.5m²/hd, 0.4m²/hd) showed less lateral lying behavior and eating behavior, and finishing weight and daily weight gain of weaning piglets and growing pigs were lower($p<0.05$). Therefore, weaning piglets and growing pigs need to be reared with proper stocking density.

Stress reactions in animals are influenced by individual, social, and genetic factors, environmental conditions, stocking density including the initial activity of the stress hormone axes, spontaneous locomotor activity, and social position. It is well established that, through the secretion of corticotropin-releasing hormone and ACTH, an acute stress can stimulate steroidogenesis in adrenal cortical cells, leading to an elevation of plasma glucocorticoids.

In this study, we evaluated whether the stress reactions of pigs are influenced by pig's facility including shoulder length barrier (SLB) and environmental factors including stocking density depending on seasons or growing periods such as postpartum sow, pregnant sow, weaning and growing pig.

In analysis of stress hormone reaction in postpartum sow, the cortisol levels in

plasma of SLB were slightly increased in spring, fall and winter and decreased pattern in summer comparing to stall. In analysis of airborne microorganisms, there were no differences between two facilities in SLB and stall. Furthermore, in analysis of antibody titers, there were no differences of antibody titers for PRRS, atrophic rhinitis, *Actinobacillus pleuropneumonia* 2 and 5 between stall and SLB.

In analysis of stress hormone reaction in pregnant sow, the results are slightly different from those of postpartum sow. In brief, cortisol levels in plasma of SLB were slightly increased in spring, but decreased pattern in summer, fall and winter comparing to stall. In analysis of airborne microorganisms, there were no differences between two facilities in SLB and stall. Furthermore, in analysis of antibody titers, there were no differences of antibody titers for PRRS, atrophic rhinitis, *Actinobacillus pleuropneumonia* 2 and 5 between stall and SLB.

To investigate whether stocking density affects the stress hormone reaction in weaning and growing pig, pigs are grown at three different stocking density including low, middle and high. In weaning pigs, the cortisol levels in plasma of pig were slightly decreased in low comparing to middle and high stocking density during all 4 seasons without any significant differences. Moreover, in growing pig, the cortisol levels in plasma of pig were similar to those of weaning pigs. In analysis of airborne microorganisms, there were no differences among three different stocking densities in weaning and growing pig. Furthermore, in analysis of antibody titers, there were no differences of antibody titers for PRRS, atrophic rhinitis, *Actinobacillus pleuropneumonia* 2 and 5 among three different stocking densities in weaning and growing pig.

CONTENTS

Chapter 1 Project outline and objective	-----	37
Part 1 Necessity of the research	-----	37
Part 2 Performance analysis	-----	56
Chapter 2 Current development of research	-----	60
Chapter 3 Research contents and results	-----	84
Part 1 Materials and methods	-----	84
Part 2 Results	-----	115
Chapter 4 Achievement and contribution rate	-----	315
Part 1 Achievement rate	-----	315
Part 2 Contribution rate	-----	318
Chapter 5 Business application based on the outcomes	-----	321
Part 1 Research results	-----	321
Part 2 Application plan	-----	328
Chapter 6 Foreign technical information	-----	329
Chapter 7 Research facilities and equipment status	-----	330
Chapter 8 Laboratory safety	-----	331
Chapter 9 References	-----	335

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요 및 성과목표 -----	37
	제 1 절 연구개발의 필요성 -----	37
	제 2 절 연구성과 목표 대비 실적 -----	56
제 2 장	국내외 기술개발 현황 -----	60
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과 -----	84
	제 1 절 재료 및 방법 -----	84
	제 2 절 연구내용 및 결과 -----	115
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도 -----	315
	제 1 절 목표달성도 -----	315
	제 2 절 관련분야에의 기여도 -----	318
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획 -----	321
	제 1 절 연구개발 성과 -----	321
	제 2 절 연구개발 성과 활용계획 -----	328
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 -----	329
제 7 장	연구시설·장비 현황 -----	330
제 8 장	연구실 안전관리 이행실적 -----	331
제 9 장	참고문헌 -----	335

제 1 장 연구개발과제의 개요 및 성과목표

제1절 연구개발의 필요성

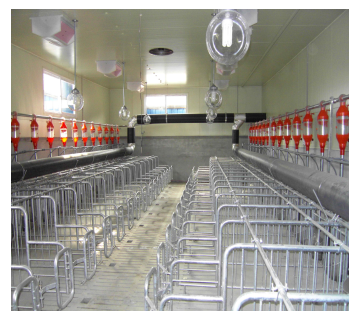
- 한-EU FTA 체결에 따른 양돈 생산성이 높은 유럽에 비해 국내 양돈 산업의 경쟁력 약화
- 동물 복지는 FTA 협상 등에서 주요의제로 채택될 정도로 세계적인 이슈로 대두
- 국내 MSY (모돈두당 연간출하두수)는 14두이나, 유럽은 MSY가 23~24두로 우리나라에 비해 약 2배정도 높은 현실임
- 군사사양 시스템을 적용하는 국내 대규모 농가의 경우 전자동 급여시스템을 이용하나, 중-소규모 농가의 경우 비용, 설치 및 유지 등의 문제로 자동급여시스템을 이용하기가 어려운 현실로 인해 현재까지 스톨 (stall)에서 임신돈이 사육되고 있음
- 스톨 (stall)이란 폭 0.6m, 길이 2m 정도로 앞드리거나 앉는 정도의 움직임만 가능하고 기본적인 움직임조차 불가능하여 동물복지 문제가 야기됨에 따라 동물 복지를 위해 유럽내 임신돈의 스톨사용은 2013년 1월 1일부터 사용을 금지할 예정이며, 북아메리카 지역내 임신돈의 스톨사용 금지도 조금씩 확산되는 추세임
- 중-소규모 농가에서 스톨사육이 금지될 경우, 그 대안으로 shoulder 사육시스템 적용이 필요함
- Shoulder 사육시스템은 기본적으로 군사 사육시스템을 바탕으로 급이기를 각각 개체가 이용할 수 있는 시스템으로 군사를 통해 충분한 활동을 함으로써 동물 복지를 고려하고 개별 급이기를 통해 충분한 사료 섭취를 하여 임신돈의 번식성적을 개선시킬 수 있음
- 따라서, 국내 모돈 사양 시스템도 변화가 필요하며, 중-소규모 농가를 고려한 shoulder 사육시스템을 통한 모돈 생산성에 관한 연구, 개발 및 확대 보급이 필요함
- 이에 본 과제의 주관기관인 단국대학교는 한 돈사 (공간: 동일 환경제어시스템) 안에서 스톨, RFID 군사시스템 및 shoulder 시스템 평가를 위한 시설을 모두 갖추고 있어 과제 수행에 적합함



<Shoulder 시스템>



<RFID 군사 시스템>



<스톨 시스템>

- 지금까지 축산경영은 수익률을 높이기 위한 공장형 축산 형태의 축산업 영위
- 국내외 시장 개방에 따라 국내 축산업의 경쟁력 확보가 시급히 요구되고 있으나, 동물복지, 에너지 저감을 통한 생산성 증대, 환경오염 방지 대책 등이 미비함
- 특히 양돈산업의 경우 사육과정에서 발생하는 악취로 인하여 많은 민원이 발생하고 있으며, 이로 인한 주변 환경오염이 극심한 실정임

표 1. 축종별 악취강도

축종별	NH_3 (ppm)	H_2S (ppb)	$(CH_3)SH$ (ppb)	$(CH_3)_2S$ (ppb)	$(CH_3)_2S_2$ (ppb)	CH_3N (ppb)
한육우	17.1	76.8	71.3	40.6	0.5	0.3
젖소	23.7	37.6	34.6	41.5	0.6	0.5
산란계	109.6	345.4	47.1	410.2	0.0	0.3
육계	96.1	19.2	167.3	215.1	0.4	0.3
퇴비처리장	642.7	73.4	81.6	1,416.8	2.3	0.7
부지경계	11.0	31.5	0.0	63.0	0.1	0.2
돼지	37.9	2,259.6	149.1	90.2	1.0	0.4

축종별	$(CH_3)_2N$ (ppb)	부틸산	발레르산	이소발레르산	$\Sigma O.U$
한육우	0.8	0.7	0.5	1.0	209.6
젖소	0.7	미측정	미측정	미측정	139.1
산란계	1.4	0.1	0.3	0.3	914.7
육계	1.1	0.2	0.3	0.1	500.1
퇴비처리장	9.4	11.3	0.8	0.3	2,269.4
부지경계	0.7	0.1	0.0	0.0	106.7
돼지	0.7	미측정	미측정	미측정	2,388.8

자료 : 환경부. 2004. 우사, 양계사 등에서 발생하는 악취배출 특성조사 및 저감방안연구

- 환경부의 연구용역 ('가축사육 제한구역 지정기준 권고안 마련을 위한 연구(주) 공간정보기술, 2011. 09.) 결과로 도출된 '축사간 최소제한거리'에 대한 권고를 전(全) 지자체에 전면적으로 확산시켜 조례화 할 경우, 축산이 급격히 위축될 것으로 판단됨

표 2. 축종별 거리제한 현황

축종	거리제한
소, 말	100m
젖소	250m
돼지	500m
개	500m
닭, 오리	500m

자료 : 환경부. 2011. 가축사육 제한구역 지정기준 권고안 마련을 위한 연구

표 3. 축사내 악취배출허용기준의 범위(환경부, 2011)

악취화합물		화학식	법적허용값	악취특성	분석기기
N-Compound s	Ammonia	NH ₃	1ppm	암모니아취	Gastec
S-Compound s	Hydrogen sulfide	H ₂ S	0.02ppm	썩은 달걀냄새	
	Methyl Mercaptan	CH ₃ SH	0.002ppm	썩은 양배추취	
	DMS	CH ₃ SCH ₃	0.01ppbv	자극취	
	DMDS	CH ₃ SSCH ₃	0.009 ppbv	부패취, 마늘취	
Volatile Fatty Acids	Acetic acid	CH ₃ COOH	25ppbv	독소는 식초취	GC 6890N & 5975 Inert MSD
	Propionic acid	CH ₃ CH ₂ COOH	0.03ppbv	분변취	
	Butyric acid	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	0.001ppbv	독소는 자극취	
	i-butyric acid	(CH ₃) ₂ CHCOOH		독소는 자극취	
	Valeric acid	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	0.0009ppbv	불쾌한 자극취	
	i-valeric acid	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH	0.001ppbv	산패취, 치즈 썩은 취	
Phenolic Compound	P-cresol	CH ₃ C ₆ H ₄ OH	-	자극취	
Indolic Compound	Indole	C ₆ H ₄ (CH) ₂ N ₂	-	강한 자극취	
	Skatole	C ₉ H ₉ N	-	상한 생선취, 분변취	

자료 : 환경부, 2011. 악취방지법 시행규칙 [별표 3] [시행2011.2.5] [환경부령 제396호, 2011.2.1, 일부개정]

- 양돈산업의 경우 그 사육 특성상 돈사내 사육환경 관리를 위한 보온등 사용, 열풍기 사용 등으로 전기 사용량이 타 축종에 비하여 월등히 높은 실정이며, 최근 국제 유가의 상승 및 전력 수급 불안 등으로 인하여 양돈장에 적합한 대체에너지의 개발과 이를 이용한 미래형 돈사모델 개발이 시급히 요구되고 있음
- 최근 한·EU FTA와 같은 시장 개방 협상에서 축산업에서 동물 복지에 대한 문제가 제기되고 있으며, 이에 따른 국내 시장개방 요구 및 국내 축산물의 수출 역제가 심화되고 있음
- 축사현대화는 현 시점에 양돈경쟁력강화를 일환으로 실현되어야 함. 이에 발맞추어 양돈장의 환경수준과 동물복지 개선을 함께 실현함으로써 유럽의 선진국형 양돈 산업과 충분히 경쟁력을 가지고 선진국 수준으로 도약할 수 있는 계기로 삼아야 함

- 정부의 경우 국내 축산업계의 동물 복지를 지속적으로 홍보 하고 있으나, 축산업계에서도 동물 복지에 대한 필요성은 인식하고 있지만 사양관리의 편리성 및 생산성 향상 등의 이유로 현장적용이 어려운 실정임

표 4. 연차별 한국형 동물복지 시범농장 확대계획

(단위 : 개소)

구분	2012	2013	2014	2015	2016
산란계	7	10	20	20	20
육 계	2	7	14	20	20
돼 지	2	7	14	20	20
한 우	2	3	7	14	20
젓 소	2	3	5	7	20
합 계	15	30	60	81	100

자료 : 농협중앙회

- 최근 동물 복지에 대한 관심이 증가되면서 축산물 생산과정에서의 동물복지가 심각한 문제로 제기되고 있으며, 양돈의 경우 사육환경이 적절치 않고 임신돈에서 사육틀 사용이 문제로 대두되고 있음
- 특히, 생산성에 중점을 둔 양돈업과 양계업에 있어서 열악하고 부적절한 사육환경으로 소비자의 신뢰상실과 한·EU FTA와 같은 시장개방 등으로 의한 국제 경쟁력을 떨어 뜨려 축산농가의 경영 악화가 예상됨
- 연구의 배경
 - 동물 복지는 영국의 농장동물복지위원회 (Farm Animal Welfare Council)가 1993년에 제안한 동물복지를 위한 5가지 자유에 기초하고 있으며, FAWC가 제안한 자유는 다음과 같다
 - 첫째, 배고픔과 갈증으로부터의 자유 : 충분한 건강과 활력을 유지할 수 있도록 신선한 물과 먹이에 쉽게 접근 가능하고 충분한 영양을 유지
 - 둘째, 불편함으로부터의 자유 : 피난처와 안락한 휴식장소를 포함한 적절한 환경의 유지
 - 셋째, 통증, 부상 및 질병으로부터의 자유 : 질병 예방 및 신속한 진단과 치료
 - 넷째, 정상적인 행동 표현의 자유 : 충분한 공간, 적절한 시설 그리고 동료들과의 어울림
 - 다섯째, 공포와 고통으로부터의 자유 : 정신적 고통을 피할 수 있는 환경 유지
- EU에서는 2013년 1월 1일부터 임신한 암퇘지의 스톨사육을 교배 후 4주 동안만 허용하고, 그 이외의 기간에는 군사로 사육하여야 한다. 즉 스톨사육을 무조건 금지하는 것이 아니라 합방 시 투쟁에 의한 유산 등의 문제와 재발 점검 (임신감정)이라는 현실적인 관리의 문제점을 보완하는 방식으로 법령을 정한 것임
- 유럽 양돈 선진국가에서는 현재 동물복지를 실천중이며, 양돈 산업뿐만 아니라 축우산업에 걸쳐 축산업 전체로 동물복지를 준하여 사육을 하고 있음
- 국내 양돈은 지금까지 축산경영이 대부분 수익률을 높이기 위한 공장형 축산 형태의 축산업 영위
- 국내외 적으로 축산업에서 동물 복지에 대한 규제가 증가하고 있으며, 관련 규정 또한

강화되고 있음

- 밀집 사육에 따른 가축의 면역력 저하는 질병발생을 증가시켜 항생제 과다 사용에 의한 문제점으로 사료내 항생제 투입 금지
- 최근 동물복지와 병행하여 안전축산물의 생산과정에 대한 관심 증가와 동물복지 축산물에 대한 수요 증가하고 있음
- 국내 축산업계에서는 동물복지에 대한 필요성은 인식하고 있으나 동물복지 축산에 대한 개념의 미정립으로 동물복지 축산으로 전환이 매우 더딤
- 우리나라의 우수한 IT 기술과 인력을 바탕으로 동물복지형 첨단 사양관리 시스템을 개발할 경우 수입축산물에 대응할 수 있는 동물복지형 축산물 생산이 가능할 것으로 예상됨

- 연구의 필요성
 - 국내 실정에 알맞은 동물복지 관점에서 생각하며, EU 양돈 선진 국가의 현행의 장·단점을 파악하고 경제적인 관점에서도 충분히 고려한 다음 앞에서 언급한 동물복지의 5대 자유를 가능한 만큼 충족하는 것이 필요
 - 국내 MSY (모돈두당 연간출하두수)는 14.5두 정도이고, 유럽은 MSY가 23-24두로 우리나라에 비해 2배정도 높은 현실임
 - 축산업계에서도 동물복지에 대한 필요성은 인식하고 있으나 사양관리의 편리성 및 생산성 향상 등의 이유로 현장적용이 어려운 실정임
 - 축산농가의 경쟁력 강화와 동물복지 축산의 조기 정착 및 보급을 위해서는 돈사시설, 축산 기구 및 시스템 구축 등의 종합적인 연구개발이 시급함

- 정책 및 제도 현황
 - 동물생산시스템 복지지침 제정 추진
 - 동물복지형 농장동물의 시범사업 추진 및 시설 투자지원을 위해 정부는 FTA와 DDA 대책으로 2008년부터 2017년까지 향후 10개년 동안 축사시설 현대화를 위해 연평균 1,425억원을 투·융자 지원할 계획
 - 2010년 8월에 새롭게 입법 예고된 동물보호법 개정 법률안의 경우 농장동물복지와 관련하여 국제 기준에 부합하고 국내 현실에 기반을 둔 농장동물복지 가이드라인 개발을 전제로 제29조부터 제32조까지를 신설해 '농장 동물복지형 축산농장 인증제'와 '동물복지형 축산식품 표시제' 도입 근거를 마련할 예정
 - 농장동물 복지에 대한 국내 기술개발·연구는 다른 분야에 비해 상대적으로 아직 미미할 뿐만 아니라 민간부문에서의 투자를 기대하기도 어려움으로 과학적·체계적인 연구 추진과 대국민 홍보 강화
 - 친환경안전축산물 직접지불제는 친환경 축산을 확산시키기 위해 2009년부터 도입한 정책으로 축산업등록자 중 축산물 HACCP 지정을 받고 '친환경농업육성법' 제17조의 규정에 의한 친환경축산생산물인증(유기 축산물·무항생제 축산물)을 받은 농가를 대상
 - 친환경 축산물 인증 및 HACCP 지정으로 축산물 안전성 확보 및 소비자 신뢰도 제고
 - 가축사육환경 개선으로 동물복지형 축산 실천 및 참여 유도를 위한 정책자금 지원
 - 가축분뇨 자원화를 위해 가축분뇨 에너지화 시설 확대

- 2012년부터 축산업 허가제 도입

- 동물복지 축산농장 인증제 실시

- 국내외적인 동물복지 수준 강화 추세 및 동물복지 축산물에 대한 소비자의 관심이 증가되고 있어 내년 2월부터 산란계를 시작으로 돼지(13년), 육계(14년) 등 동물복지 축산농장 인증제가 실시
- 농장동물의 복지수준을 향상하기 위하여 강화된 기준의 동물복지를 실천하는 농장에 대하여 동물복지 축산농장 인증을 실시하고, 그 농장에서 생산된 축산물에 표시할 수 있도록 할 예정
- 동물복지 축산농장 인증제도는 농장동물의 사육과정에서 동물의 기본적인 자유를 보장하도록 함으로써 소비자에게는 윤리적으로 생산된 축산물을, 축산농가에게 지속가능한 축산업 기반을 제공할 수 있도록 하는 제도로, 동물복지 축산농장 인증은 희망하는 농가의 신청을 받아 농림수산검역검사본부에서 심사 후 동물복지 축산농장 인증서 및 인증마크를 부여받게 됨

- 동물보호법 개정

- 동물학대자에 대한 징역형 부과, 동물복지축산농장 인증제 도입, 동물등록제 전국 확대 실시 등을 주요 골자로 하는 ‘동물보호법’이 내년 2월 시행
- 동물학대자에 대한 벌칙이 500만원 이하의 벌금에서 1년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금으로 상향되었으며, 지자체장이 자율적으로 시행해오던 동물등록제는 의무 시행으로 바뀌어 반려동물(개)을 키우는 소유자는 '13년부터 시·군·구에 반려동물과 관련된 정보를 등록해야 한다. 다만, 농어촌 일부지역 등은 시행에서 제외.
- 또한, 농장동물복지 향상을 위한 제도로 동물복지축산농장 인증제가 도입되어, 동물복지형 축산물의 소비가 가능하게 할 계획. 이외에도 신고·등록해야 하는 동물생산·수입·판매업의 축종범위가 개·고양이·토끼 등으로 확대

- 관련 기술 현황

- 동물복지를 고려한 대체 사육시설 개발 및 보급
 - 국제적 동물복지 인증기준에 부합하는 대체 사육시설 개발 및 보급 (3종)
 - : 스톨 및 틀의 사용금지 대응(돼지) : 임신돈 군사사양장치, 분만틀 대체 분만돈 사육시설
 - : 케이지 사용금지 대응(산란계) : 케이지 대체 Aviary 사육시설

- 동물복지 축산농장 인증기준 마련 (수행 중)

- 동물복지 축산농장 인증제 실시를 위한 축종별 인증기준 마련 (돼지, '10년 초안제시)
 - : 산란계('11), 돼지('12), 육계('13), 한·육우('14), 젓소('15)
- 농장동물복지 연구회 설립 및 동물복지 인증기준 토론회 개최

- 동물복지 시범농장 모델에 대한 연구 (수행 중)

- 농장실증을 통한 동물복지 사육시설 및 관리 등 동물복지형 축산 모델 구축
- 동물복지 수준평가 시스템에 대한 연구 (수행 중)
 - 동물복지와 관련된 파라미터들을 구명하고 이를 이용한 실시간 평가 시스템 구축
- 지열이용 돈사 냉·난방 시스템
 - 지하수의 신재생에너지인 지열[여름철(10~15℃), 겨울철20~25℃)]을 이용하여 축사를 냉·난방하는 시스템
 - 지열히트펌프를 이용하여 여름철에는 차가운 지하수열을 응축하여 냉방에 활용하고 겨울철에는 따뜻한 지하수열을 응축하여 난방에 이용
 - 지열이용 냉·난방으로 급격한 고유가 대응 및 안전 축산물 생산



그림 1. 지열이용 축사 냉·난방 시스템



그림 2. 지열 냉·난방 원리 및 설치 모식도

- 전자제어식 모돈 사양관리 시스템
 - 입구 문에 장착된 감지기가 일일 섭취량을 섭취한 돼지를 인식하여 문을 열어주지 않음
 - 돼지가 입구 문을 들어가면 근접 감지기가 있어 입구 문을 닫아줌
 - 돼지가 급이통에 접근하면 RFID인식 안테나가 개체 RFID 번호를 읽고 급이통 문이 열리며 일일 예정된 사료량을 다 먹으면 급이통 문이 닫힘
 - 출구문은 2개가 순서대로 열리며 앞쪽 문은 돼지의 진행방향으로만 열리므로 출구문을 통해 다른 돼지가 들어올 수가 없음
 - 가장 중요한 기능은 임신기간 114일 동안 사료 급이량을 초기, 중기, 말기로 구분하여

일일 사료량을 입력해주면, 초기 사료량에서 중기 사료량으로, 중기 사료량에서 말기 사료량으로 변경하여 급이함

- 처녀돈과 경산돈 모두 이 시스템에 적응시키는데 5일 정도면 충분히 훈련기간이 소요됨

■ 동물복지형 다단계 개방형 시스템

- 직립식케이지는 한정된 계사 면적과 공간을 최대한 활용해 최대 사육수수를 수용할 수 있는 자동화시스템으로 계사내의 급수와 급여, 계분 처리에 사람이 필요 없는 무인자동화가 가능하며, 밀집사육으로 발생하는 가스분출, 공기오염 등 생산성 저해요인을 일거에 해소하는 완벽한 환기장치로 사양관리의 편의성과 효율성을 높인 것이 특징

■ 실시간 축사위험 예측 시스템

- 축사내 온/습도 변동과 정전, 화재, 음수량 등을 실시간으로 WEB 서버에 저장하여 경보 발생시 관리자에게 실시간으로 경보상황을 전파하여 집단폐사와 같은 위험을 미연에 방지 할 수 있음. 또한, 실시간 저장되는 환경변수를 기준으로 계절별, 사육단계별(자돈, 육성, 모돈 등) 표준사육환경을 유지할 수 있도록 제어

■ 사육이력관리 및 품질위생관리 시스템

- 가축이력과 위생관리는 글로벌 축산업 시대의 필수적인 항목임. 그러나 중소 축산농가는 별다른 관리시스템 없이 관리지침만 있음. 열악한 시설과 인력(부부, 외국인 노동자 2명 내외)으로는 필수적인 이력관리와 위생관리의 어려움이 있음. 본 연구개발은 HACCP(위해요소 중점관리)지침에 의거 HACCP 인증을 받을 수 있고, 지속적으로 관리할 수 있는 시스템을 제공.

- 출입·소독 관리

- 가축의 전·출입 이력 관리

- 농장 약품사용(소독약, 백신 등) 기록 관리

- 시설현황·점검 관리

- 농장의 종합적인 생산 기록 관리

- 온라인 상담(질병 등에 따른 기술지원) WEB 서비스

■ 전염병 예방/방역관리 시스템

- 계절별, 사육단계별 약품(질병, 전염병)관리

- 시·도별 사육농가 관리(위치, 규모, 질병, 전염병 이력 등)

- 전염병 발생시 진입로 및 출입 통제 차량 관리(사료차, 분뇨처리차 등)

■ 우리나라 양돈 약취 및 온실가스환경의 문제점

- 우리나라 돈사는 원치커튼 개방형 약 77%, 밀폐형 23%로 시설되어 있으며(축산과학원 2011), 개방형 돈사는 실내약취를 저감할 수 있는 방법이 극히 제한적이므로 약취저감 설비가 거의 전무하여 거의 상시(常時) 약취와 온실가스가 주위로 발산(發散)되고 있는 실정임. 또한 대규모 양돈장일수록 밀폐돈사로 강제환기로 실내공기가 다량 포집하여

암모니아 및 황화수소 등의 고농도 악취가스 및 온실가스가 jet화 되어 배출되므로 확산이 단시간(temporal perspective)에 광범위(spatial perspective)하게 이루어지므로 민원이 빈발하고 있는 실정임.

- 가축분뇨로 인한 악취발생은 축우나 양계의 경우 깔개로 흡착되어 상대적으로 악취발산이 상대적으로 적으나, 양돈장에서이 슬러리는 뇨량(尿量)이 많기 때문에 악취의 발생이 두드러짐 (서울대 내부자료, 2000). 또한 우리나라의 경우 양돈장과 인근 마을간 거리가 채 1,000m 안되는 경우가 60%에 이르러 양돈장 악취로 인한 피해호소가 빈발함 (2011, 축산과학원)
- 2003년 이후 악취민원은 연평균 14.5%씩 증가하고 있으며, 이중 축산관련 민원은 해마다 7%씩 증가하고 있음 (2006, 환경부 내부자료)
- 경기도의 경우, 악취민원은 16건 (2003) → 115건 (2005)로서 약 7배 이상 증가하여 비축산인의 축산악취에 대하여 점차 민감해져 가는 경향임 (경기개발연구원, 2007)
- 양돈장의 악취민원은 가축분뇨 살포시(52%) > 돈사로부터(22%) > 분뇨저장시(17%)> 사료관련(8%)> 기타(1%) 순으로 가축분뇨의 토양환원시 악취민원이 가장 높게 보고됨 (축산과학원, 2009). 그러므로 현행 '6개월 이상 단순저장 후 농경지 살포'를 '적극적인 처리후 무취시 살포' 정책으로 전환해야 함.
- 고농도 악취 및 온실가스는 돈사에서 사육되고 있는 돼지의 생산성 저하는 물론이고 돼지 질병발생이 증가하며, 돈사내의 상시 작업자에게도 건강상 위해(危害)를 줄 가능성이 높으므로 (전북보건환경연구원, 2011) 실용적 돈사의 악취 및 온실가스 저감기술개발이 우선 과제임.
- 환경부의 연구용역 ('가축사육 제한구역 지정기준 권고안 마련을 위한 연구'. (주)공간정보기술, 2011. 09.) 결과로 도출된 '축사간 최소제한거리'에 대한 권고를 전(全) 지자체에 전면적으로 확산시켜 조례화할 경우, 축산이 급격히 위축될 것으로 판단됨. 이 연구용역 주로 악취의 휘산거리를 중심으로 연구결과를 도출함. 이의 연구용역의 권고안이 각 지자체의 축산제한의 법적근거로 활용되고 있어 악취 및 온실가스의 저감시스템 개발이 지속적 양돈의 핵심현안으로 대두될 정도로 절실한 시점임.
- 우리나라 축산의 악취현황에 대한 연구는 의외로 제한적임. 유일한 과학적 검증은 2004년 환경부용역 ('우사-양계사 등에서 발생하는 악취배출 특성 및 저감방안연구', 2004. 06.)으로 당시 축산환경기술과 현재와는 현격한 차이가 있으므로 그 때를 기준으로 권고안을 제시하는 것은 비현실적인이며, 비과학적인 시책이 될 수 있으므로, 미래를 위한 지속적 축산을 위한 정량적 자료를 확보함으로써 설득력있는 축산정책을 입안할 수 있음.
- 최근 한-미, 한-EU 한-호주, 한-중국 등 FTA대응 양돈경쟁력강화의 일환으로 정부가 '축사시설 현대화' 사업(약 3조원)의 효율을 극대화하기 위하여 지원규모와 양돈장의 환경수준(특히 악취 및 온실가스의 발산농도)과 연계하여 축산환경의 수준을 선진국 수준으로 도약시킬 수 있는 우리나라 실정에 맞는 계기로 삼아야 함.
- 최근 한-미, 한-EU 한-호주, 한-중국 등 FTA대응 양돈경쟁력강화의 일환으로 정부가 '축사시설 현대화' 사업(약 3조원)의 효율을 극대화하기 위하여 지원규모와 양돈장의 환경수준(특히 악취 및 온실가스의 발산농도)과 연계하여 축산환경의 수준을 선진국

수준으로 도약시킬 수 있는 우리나라 실정에 맞는 계기로 삼아야 한다.

- 현실적으로 가장 악취문제가 심각한 양돈업의 경우, 농업생산중 5조 3천억원으로 12.2%를 점하는 제2의 주요작목이나, 악취 및 온실가스로 인하여 사회적 현안으로 대두된다. 한-미, 한-EU, 한-중국 등과 FTA로 인한 개방을 전제로 경쟁력있는 지속축산을 위하여 적극적이며, 심도있는 악취저감 기술 및 시스템개발이 절실한 시점이다.
- 그러나 양돈시설(또는 사육)의 유형과 악취저감 기법이 다양하고, 대상 악취화합물종도 200여종 이상될 정도로 악취화합물이 많으므로 지혜로운 연구전략이 필요하다. 선행연구의 경우, 악취발생에 영향을 미치는 다양한 요인(사육 규모 및 시설형태, 가축분뇨처리방법, 악취 및 온실가스 종(種), 악취저감방법, 돈사입지 지형 및 계절적 조건 등)을 복합적으로 고려하지 못하고 단순 산술적 결과를 보고한 데 그 한계가 있다. 그러므로 본 제안연구에서는 현장에 적용할 수 있는 hardware적으로 시스템이 단순하면서도(simple), 효율이 높고(efficient), 경제적인 (cost-effective)한 악취 및 온실가스 저감기술 및 이의 시스템개발을 우선하고자 하였다.
- 또한 악취 및 온실가스 화합물은 구성성분 자체를 분해·제거해야 하므로 악취성분을 분해하는 미생물을 분리, 동정하여 가축분뇨의 냄새를 제거하기 위한 조건과 악취제거 능력의 유의성 검증 등 악취 및 온실가스 제거미생물에 대한 심도 있는 연구도 수행되었다.
- 돈사 주요 악취 및 온실가스의 돼지 건강성과의 상관성
 - 돈사 내 환기공기는 사료, 피부, 바닥 깔개, 건조분 입자, 세균 등 매우 다양한 부유입자(浮遊粒子)도 함유되어 있으며(Maghirang et al., 1995), 악취 등에 오염된 공기는 작업자나 돼지의 비강과 기도 뿐만 아니라 폐까지 위해(危害)하므로 (Carpenter, 1986; Donham et al., 1989; Seedorf et al., 1998; Kim et al., 2007) 악취화합물의 농도가 돈사내 작업자와 돼지의 건강에 지대한 영향을 미침을 인식할 필요가 있음.
 - 물질의 . 암모니아와 황화수소는 돼지의 생산성에 매우 부정적 영향을 미치며(Cai et al., 2006),
 - 축사내 먼지-악취간의 양적(陽的) 상관으로 분석되었으며, 이는 악취분자가 먼지입자에 흡착함으로써 먼지의 제거가 악취물질의 저감으로 이어짐을 보고함 (Day et al., 1965).
 - Kim et al. (2005)은 겨울철 온도와 돈사 내 악취물질-먼지-세균수 간의 상관성이 높은 것으로 보고하여
 - Kruger(1995), Phillips et al. (2001)등의 연구에 따르면, 약 200종의 악취 원인물질이 양돈장에서 발생하는 악취에 포함되어 있는 것으로 밝혀졌고, 양돈장에서 발생하는 악취 원인 물질을 그 특성에 따라 질소대사물(N-compounds) 및 황대사물(S-compounds), 휘발성지방산류(VFA), 페놀류(Phenol)로서 본 제안연구에서 이들 악취 및 온실가스 화합물을 중심으로 분석할 필요가 있으며, 우리나라 양돈현장에서 이외의 화합물이 감응되면 고유한 악취환경을 보고할 수 있음.
 - 미국 Iowa주에서는 매년 '죽음의 돼지악취가스'에 의한 크고 작은 질환의 발생과 더불어 몇 건의 사망사고들이 보고되었고, 황화수소, 암모니아, 이산화탄소, 메탄이 4종의 악취

및 온실가스가 주 원인물질이다(Lornar et al., 1993). 이들 기체들은 일정농도 이상에서 짧은 기간 동안 피폭될 경우에도 사람과 가축 모두 가벼운 자극부터 사망까지의 증상을 보일 수 있으므로 악취화합물과 온실가스농도와 돼지, 작업자의 건강성 상관관계를 정밀하게 분석할 필요가 있음.

■ 연구개발의 필요성

- 현실적으로 가장 악취문제가 심각한 양돈업의 경우, 농업생산중 5조 3천억원으로 12.2%를 점하는 제2의 주요작목이나, 악취 및 온실가스로 인하여 사회적 현안으로 대두됨. 한-미, 한-EU, 한-중국 등과 FTA로 인한 개방을 전제로 경쟁력있는 지속축산을 위하여 적극적이며, 심도있는 악취저감 기술 및 시스템개발이 절실한 시점임.
- 그러나 양돈시설(또는 사육)의 유형과 악취저감 기법이 다양하고, 대상 악취화합물이나 온실가스종도 200여종 이상될 정도로 복합악취이므로 지혜로운 연구전략이 필요함. 선행연구의 경우, 악취발생에 영향을 미치는 다양한 요인(사육 규모 및 시설형태, 가축분뇨처리방법, 악취 및 온실가스 종(種), 악취저감방법, 돈사입지 지형 및 계절적 조건 등)을 복합적으로 고려하지 못하고 단순 산술적 결과를 보고한 데 그 한계가 있음. 그러므로 본 제안연구에서는 현장에 적용할 수 있는 hardware적으로 시스템이 단순하면서도(simple), 효율이 높고(efficient), 경제적인 (cost-effective)한 악취 및 온실가스 저감기술 및 이의 시스템개발을 우선과제로 하려함.
- 또한 악취 및 온실가스 화합물은 구성성분 자체를 분해·제거해야 하므로 악취성분을 분해하는 미생물을 분리, 동정하여 분뇨의 냄새를 제거하기 위한 조건과 악취제거 능력의 유의성 검증 등 악취 및 온실가스 제거미생물에 대한 심도있는 연구도 중요함.

- 축산업의 연간 총생산액은 약 11조8000억원(2006년 농림통계자료)이며 이 중에서 양돈업계의 생산액이 약 3조8000억 원(2006년 대한양돈협회)에 달하며, 전체 농업에 있어 단일 업종으로는 벼 생산 다음으로 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 현재 국내에서 사육되고 있는 전체 사육두수는 2007년 6월 기준으로 938만 2천여두에 달하고 점차 증가할 것으로 보이며, 사육호수가 점차 대형화 되고 있는 추세임

돼지 사육호수와 호당 사육두수



농림부, 2007

- 그러나, 최근 한미 FTA 체결과 맞물려 미국산 소고기 수입, 사료값 폭등, 분뇨처리 문제, 돼지 질병에 의한 피해로 인해 양돈 산업이 위축될 것으로 보이며, 특히 돼지 질병으로 인한 경제적 손실은 총 생산액의 20%로 추정하고 있어 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정임



- PSY(모돈두당연간생산두수)와 MSY(모돈두당연간출하두수)는 양돈장의 경영에 있어서 생산성을 나타내는 지표로서 양돈가 소득에 있어 핵심적인 사안임. MSY 성적이란 이유(離乳)한 돼지를 죽이지 않고 잘 키워서 출하시킬 수 있는 돼지의 생산성을 나타내는 것으로서 농장경영이 우수한 곳일 수록 MSY 수치가 높은 특징을 나타내며, 대한양돈협회에 따르면, 2007년 12월 기준 전국 평균 MSY가 13.45두로 보고하였으며, 2011년 현재 약 14.5두로 추정되고 있음.
- 이처럼 MSY가 낮은 주요 원인은 농장 평균 PSY가 22.8두 였음에도 불구하고 각종 질병으로 인한 폐사율이 높았기 때문이지만, 이에 반해 농장경영이 우수한 농장의 경우 PSY가 27.0두이고, MSY가 25두 정도를 나타내내고 있어, 농장관리에 따른 경제적 소득이 매우 높음을 알 수 있음. 따라서 국내 양돈장 경영에 있어 MSY를 높이는 것이 바로 양돈가의 수익을 최대화 시키고 경쟁력 강화를 위한 핵심 사안이라 할 수 있음.

<표 1> 국내 양돈 생산성 현황

년 도	단위	2002	2003	2004	2005	2006	2007
총 사육두수	두	8,974,000	9,231,000	8,908,000	8,962,000	9,382,039	9,605,831
모돈수	두	955,000	975,000	935,000	966,000	1,012,000	1,004,000
도축두수	두	15,338,432	15,178,048	14,619,010	13,487,815	13,072,840	13,611,855
사료 생산량	톤	5,934,033	5,657,736	5,419,107	5,169,675	5,175,067	5,400,000
MSY	두	16.06	15.89	14.99	14.43	13.53	13.45
사료요구율		3.52	3.39	3.37	3.48	3.60	3.61

(자료출처; 2008년 대한양돈협회)

- 현재 MSY 관련 주요 질병에 대한 예방 및 저감을 위한 양돈장 종합관리 기준이 전무한 실정이며, 특히 질병이 발생하였을 때 종합적 접근 보다는 각각의 치료적 접근, 환경적 접근, 사양관리적 접근이 이루어지고 있어, 이들을 아우를 수 있는 종합적인 질병 및 환경제어 매뉴얼 마련이 절실한 실정임.
- 2005년 정부와 대한양돈협회가 수행한 양돈장 관리 실태를 보면, 농림부가 고시한 ‘가축사육시설 단위면적당 적정사육기준’을 토대로 밀사가 심각한 형태이며, 외부 구입돈에 대한 격리, 환돈 및 위축돈의 격리, 발판 소독조 운영, 올인-올아웃 적용 등과 같은 방역관리에 취약한 사육형태가 대부분이다. 아울러 전체농가의 54%가 500m이내에 인근농가가 위치, 호흡기 질병 등의 공기전파 가능성에 노출돼 있는 것으로 나타남.
- 시설환경학적 측면에서는 MSY 관련 주요 질병의 원인을 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 즉 첫 째는 일교차가 심한 경우, 둘째는 공기 질이 나쁜 경우임. 우리나라의 경우 사계절이 매우 뚜렷하여 봄과 가을(3, 4, 5, 9, 10, 11월)에는 일교차가 매우 심하여 외부 환경의 영향을 받는 돈사 내부의 열환경을 해당 돼지에게 적합한 온도와 일교차로 유지하기란 매우 어려운 실정임. 특히 1일 최고 온도가 상한임계온도 이상으로 유지되는 상태에서 1일 최저 온도가 상당히 낮은 환경에서는 더욱 일교차를 줄이기란 매우 어려워, 이러한 시기에는 작업자가 환기팬 제어기에 설정해야 하는 돈사 내부의 목표온도를 매일 매일 직접 바꿔줘야 하는 번거로움이 있으며, 만약 작업자가 설정온도를 잘못 입력하였을 시에는 그 피해가 매우 커질 가능성이 항상 존재함.
- 스트레스를 받을 때 우리 몸 안에선 코티졸 이라는 호르몬을 만들어 내게 되는데, 이 때문에 “코티졸(Cortisol)”을 일명 “스트레스 호르몬”으로 알려짐
- 코티솔은 부신에서 분비가 되는데, 스트레스를 받으면 신경계를 통해 부신수질에서 카테콜아민이 분비가 되고, 다시 시상하부는 뇌하수체를 자극, 부신피질 자극 호르몬인 ‘ACTH’ 를 분비함
- 코티솔은 단백질을 분해하여 포도당으로 전환 시키고 뇌에 영향을 주어 행동적 반응을 유발함
- 스트레스가 지속되어 코티솔이 계속 분비되면, 혈압이 오르고, 근조직이 상하며, 불임 및 성장억제 등이 나타나며, 면역기능이 저하됨

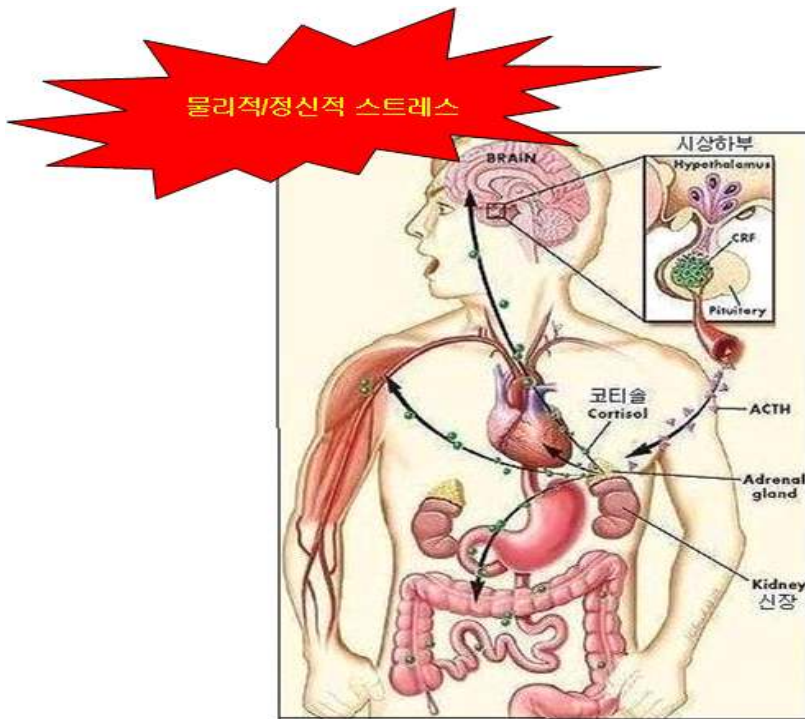


그림 1. 스트레스 호르몬 분비기전

- 양돈장 내 스트레스 발생 요인에는 사육시설, 밀사, 공기 질, 각종 질병 원인체 등이 있으며, 현행 돼지 사육시설 및 문제점은 아래와 같음

사육단계	시설	문제점
임신돈	스톨	- 극단적 행동제한에 의한 스트레스 유발 - 스트레스에 의한 생산성 저하 - 동물복지 미 고려
분만모돈	분만틀	- 극단적 행동제한에 의한 스트레스 유발 - 스트레스에 의한 생산성 저하 - 동물복지 미 고려
이유자돈	군 크기 및 돈방 크기 (사육밀도)	- 고밀도 사육에 의한 행동제한 - 고밀도 사육에 의한 소모성질병 다발 - 동물복지 미 고려
육성/비육돈	군 크기 및 돈방 크기 (사육밀도)	- 고밀도 사육에 의한 행동제한 - 고밀도 사육에 의한 소모성질병 다발 - 동물복지 미 고려

- 공기의 질과 관련된 환경인자는 암모니아 가스, 이산화탄소 농도 및 먼지/부유세균 등이 있으며, 특히 암모니아 가스는 돼지의 스트레스, 생산성 및 질병에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 평가되고 있음
- 그러나, 현재까지 암모니아 가스가 생산성 및 질병에 미치는 영향을 평가한 사례는 있으나,

돼지의 스트레스에 미치는 영향이 평가된 사례가 전무한 실정임.

- 현행 양돈장의 사육시설은 동물복지가 고려되지 않고 생산성에만 초점이 맞추어져 있기 때문에 다양한 환경적 스트레스에 노출되어 있어 이에 대한 개선이 필요함
- 양돈장 사육 단계별 돼지의 복지를 위한 적정 호르몬 농도, 복지형 사육시설, 복지형 사양관방법(환경기준) 등이 확립되어 있지 않아, 이에 대한 기준마련 및 표준화가 절실히 요구 됨

■ 관련기술에 대한 신청연구팀의 선행연구결과

- 발성음을 토대로 한 돼지 소모성질병 진단기술 확립



Classification of Porcine Wasting Diseases Using Sound Analysis

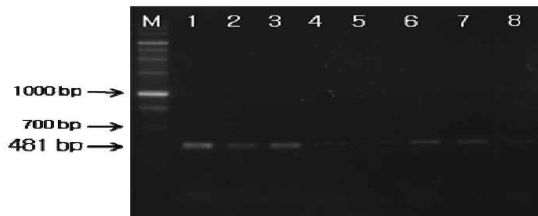


Figure 1. PCR amplification for PCV2. Viral DNA was extracted from whole blood and PCR amplification was performed. The 481 base pair amplified product was shown in agarose gel electrophoresis. M; marker, lane1; positive control, lane 2-8; PCV2 infected samples.

Moreover, the discriminant result among the measured parameters indicated that it is possible to discriminate the different porcine wasting diseases parameters like pitch, intensity and formants 1, 2, 3 and 4. However, among the

Diseases*	No. of pigs	Pitch (Hz)
Group I	7	325.47±68.01 ^{1a}
Group II	13	197.01±115.35 ^b
Group III	7	301.88±80.84 ^a
Group IV	9	269.86±98.88 ^{ab}
p-value		p<0.002

* Group I (normal), Group II (PCV2 positive), Group III (PRRS positive), Group IV (MH positive).
¹ Mean±SD.
^{a, b} Values with different superscript letters are significantly different in p<0.002.



Figure 2. Spectrums of the different cough sounds acquired from normal, PCV2, PRRS and MH samples, respectively.

Table 3. Discrimination result of the different parameters of cough sounds that include pitch, intensity, formants 1, 2, 3 and 4 acquired from the different porcine wasting diseases

Analysis case processing summary		
Unweighted cases		
	N	Percent
Valid		76 98.7
Excluded	Missing or out-of-range group codes	1 1.3
	At least one missing discriminating variable	0 0.0
	Both missing or out-of-range group codes and at least one missing discriminating variable	0 0.0
	Total	1 1.3
Total		77 100.0

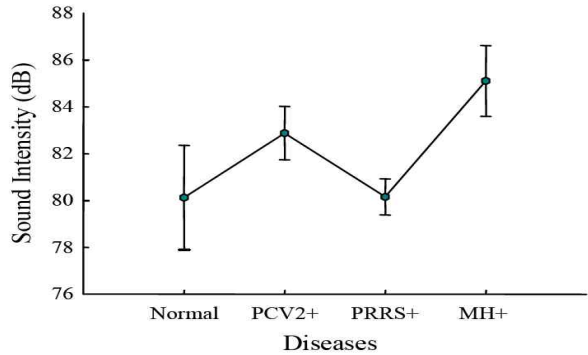
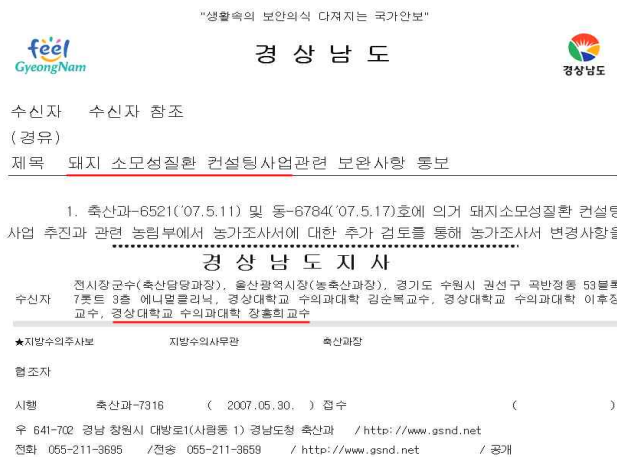


Figure 4. Sound intensities of major porcine wasting diseases (dB).

■ 양돈장 소모성 질환 저감을 위한 컨설팅 수행



<2007-2009년도 돼지 소모성질환 컨설팅 수행>

■ 한국형 표준돈사 설계도 제작에 총괄책임자로 참여



<2009년도 한국형 표준돈사 설계도 제작>

- 축사 시설 및 환기에 관한 특허 다수 보유: 출원번호 10-2007-0112413, 10-2007-0123216 등
- 무창돈사 환기와 관련된 다수의 논문을 발표함

<p>바이오시스템공학 (J. of Biosystem Eng.) Vol. 33, No. 4, pp.434-442 (2010. 12) DOI:10.5307/JBE.2010.35.6.434</p> <p>Research Article Open Access</p> <p style="text-align: center;">소규모 복도-더그매 예열 음압환기방식 무창자돈사의 최적 환기 요건에 관한 연구</p> <p style="text-align: center;">이승주 정동일 황선호 Winson M. Gutierrez 정홍희</p> <p style="text-align: center;">Necessary Conditions for Optimal Ventilation of Small Negative Pressure Ventilating Piglet House with Corridor and Attic for Preheating</p> <p style="text-align: center;">S. J. Lee D. I. Chang S. H. Hwang W. M. Gutierrez H. H. Chang</p> <p>Abstract</p> <p>This study was carried out to determine necessary conditions for optimal ventilation of small windowless piglet house (4.0 (W) × 11.0 (L) × 2.60 (H) m) with corridor and attic for preheating using CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation. The experimental weaning piglet house was consisted of a corridor, an attic, 4 rooms (3.0 (W) × 2.75 (L) m), 3 fences (0.70 (H) m), 5 air inlets and 2 exhaust fans (0.4 (D) m) and simulated using CFD code, FLUENT. The simulation results for the experimental weaning piglet house showed that each room was uniformly ventilated under all the experimental conditions and air velocities at 0.1 m above floor are less than 0.15 m/s for 0.75 m/s and 1.0 m/s of air inlet velocity but 0.61 m/s for 1.25 m/s. The simulation results are similar to the measured results. Considering the air flow pattern, ventilating efficiency, air velocity at 0.1 m above floor and cold stress of weaning piglets and so on, the optimum velocity of air inlet might be 1.0 m/s.</p> <p>Keywords: Weaning piglet house, Preheating, Ventilation, CFD simulation, Air inlet</p>	<p>한국환경학회지 제27권 제2호 (2008) Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 27, No. 2, pp. 156-155</p> <p style="text-align: right;">연구논문</p> <p style="text-align: center;">무창이유자돈사의 내부 환경 개선에 관한 연구</p> <p style="text-align: center;">이승주¹⁾, W. M. Gutierrez²⁾, 김봉식³⁾, 한진영⁴⁾, 정동일¹⁾, 정홍희²⁾</p> <p style="text-align: center;">¹⁾충남대학교 농업생명과학대학, ²⁾경상대학교 축산학전공-농업생명과학연구소 (2008년 6월 27일 접수, 2008년 8월 24일 수리)</p> <p>Study on Modification of Inside Environment in Windowless Weaning Piglet House Seung-Joo Lee¹⁾, W. M. Gutierrez²⁾, Bong-Sik Kim³⁾, Jin-Young Han⁴⁾, Dong-Il Chang¹⁾, and Hong-Hee Chang²⁾ ¹⁾College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, ²⁾Department of Animal Science, Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)</p> <p>ABSTRACT: This study was carried out to determine the location and the number of air inlet and outlet, optimum air inlet velocity for effective ventilation in windowless weaning piglet house (2.90(W)×9.90(L)×2.80(H) m) by CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation. The weaning piglet house for this experiment was consisted of 11 air inlets and 9 outlet, modified and simulated using CFD code, FLUENT. The simulation result for the original weaning piglet house, which was not modified, showed ununiform ventilation for each room. Therefore, for uniform ventilation, 4 air inlets and 1 outlet were completely closed, and 2 air outlets were partially closed. The simulation result for the modified weaning piglet house showed uniform ventilation for each room and the optimum air inlet velocity of 0.5 m sec⁻¹.</p> <p>Key Words: ventilation, weaning piglet house, CFD simulation, air inlet, air outlet</p>
<p>☐ 제목 [국문] : 논문 : 정보처리 및 복합기술 ; 소규모 음압터널환기방식 무창자돈사의 최적 환기 요건에 관한 연구</p> <p>☐ 제목 [영문] : Paper : Information Processing and Interdisciplinary Technology ; Necessary Conditions for Optimal Ventilations of Small Windowless Piglet House with Negative Tunnel Ventilating System</p> <p>☐ 저자 : 이승주 (S. J. Lee) , 정동일 (D. I. Chang) , 박정식 (J. S. Park) , 전상훈 (S. H. Jeon) , 조형제 (H. J. Cho) , 오권영 (K. Y. Oh) , 정홍희 (H. H. Chang) , (Winson M. Gutierrez)</p> <p>☐ 출처 : 한국농업기계학회 , 바이오시스템공학 (구.한국농업기계학회지) 34권 1호 63 ~ 68, 총 6 pages</p> <p>☐ 발행년도 : 2009</p> <p>☐ 주제 키워드 : Weaning piglet house, Tunnel ventilation, CFD simulation, Air inlet, Fence</p>	

- 본 연구팀이 이미 국내 10개 양돈장에 대한 환경요인과 폐사율 간의 상관관계를 분석하였으며 아래와 같은 결과를 도출 하였고, 본 연구결과를 토대로 환경요인의 개선을 위한 종합적 분석이 가능하며, 이를 토대로 공기정화장치(또는 시설) 개발을 위한 토대를 구축하고 있음

Effects of Environmental Factors on Death Rate of Pigs in South Korea

**Seung-Joo LEE^{1,2}, Taek-Kuen OH^{2,3}, Suk KIM³, Won-Gi MIN³,
Winson-Montanez GUTIERREZ⁴, Hong-Hee CHANG^{4*}
and Jiro CHIKUSHI²**

Biotron Application Center, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku,
Fukuoka 812-8581, Japan

(Received October 31, 2011 and accepted November 9, 2011)

Reducing the mortality rate among pigs for a swine industry is very important. In this study, environmental factors such as average air temperature, average daily temperature range and average relative humidity were determined on its effects on mortality rate of pigs and its optimum ranges to influence pigs health that were correlated with the pigs periodic growth. Data were collected from 10 pig farms in South Korea during the Summer, Fall and Winter seasons. Correlation and regression equation between each environmental factor and pigs' death rate and correlation between pigs' mortality rates of different rearing stages were analyzed. Mortality rate of young pigs (suckling piglets and weaning piglets) was susceptible affected by the average air temperature and daily air temperature range, but not by average relative humidity. It was observed in this study that the recommended daily air temperature for young pigs is below 15°C. The positive correlation between pigs' mortality rates of different rearing stage indicated that pigs need to be reared in a good and appropriate environment from starter to finisher.

<돈사별 환경요인에 대한 폐사율의 상관관계 분석>

- 본 연구팀이 이미 국내 14개 양돈장에 대해 수의학적 관점에서 계절별 돈사내 공기 중 부유세균 오염도, 세균성 호흡기 질병에 대한 백신 체계 및 예방(치료) 체계 실태, 세균성 호흡기 질병에 대한 방어항체가 유지 현황 조사 및 세균성 호흡기 질병 농장 진단 체계 및 환돈 관리 실태 파악을 수행하여 아래와 같은 결과를 도출 하였고, 본 연구결과를 토대로 환경요인의 개선을 위한 종합적 분석이 가능할 것으로 사료됨

<계절별 돈사내 공기 중 부유세균 오염도 측정>

농장	돈사	하절기		춘추절기		동절기	
		균수	평가*	균수	평가	균수	평가
A	자돈사	67±12	저	456±52	중	699±65	고
	육성사	88±16	저	665±43	고	847±101	고
	비육사	120±19	저	574±47	중	885±74	고
	분만사	96±10	저	651±78	고	664±65	중
B	자돈사	102±9	저	106±7	저	109±15	저
	육성사	442±29	중	235±18	저	40±8	저
	비육사	118±16	저	284±23	저	208±25	저
	분만사	204±19	저	212±21	저	289±53	저
C	자돈사	106±12	저	112±11	저	83±10	저
	육성사	260±44	저	445±74	중	342±59	중
	비육사	364±71	중	552±58	중	452±47	중
	분만사	489±39	중	572±63	중	912±104	고
J	자돈사	335±42	중	551±55	중	698±64	고
	육성사	268±25	저	386±51	중	447±41	중
	비육사	53±4	저	214±45	저	315±28	중
	분만사	140±18	저	224±22	저	221±19	저
D	자돈사	150±14	저	442±67	중	842±54	고
	육성사	210±26	저	368±28	중	653±65	고
	비육사	221±41	저	441±51	중	668±71	고
	분만사	98±8	저	108±9	저	42±8	저
E	자돈사	321±44	중	441±65	중	605±65	고
	육성사	235±37	저	286±47	저	117±21	저
	비육사	285±26	저	321±61	중	358±39	중
	분만사	105±12	저	85±11	저	47±9	저
F	자돈사	221±42	저	774±98	고	748±57	고
	육성사	1376±114	고	652±45	고	696±68	고
	비육사	541±59	중	551±74	중	498±74	중

G	분만사	221±42	저	229±35	저	144±22	저
	자돈사	108±11	저	189±25	저	202±33	저
	육성사	247±51	저	489±74	중	498±47	중
	비육사	316±47	중	874±65	고	1304±121	고
H	분만사	221±33	저	249±27	저	157±39	저
	자돈사	189±21	저	198±21	저	206±52	저
	육성사	684±57	고	794±101	고	1246±175	고
	비육사	442±42	중	552±79	중	889±139	고
M	분만사	130±25	저	162±31	저	50±11	저
	자돈사	298±61	저	887±83	고	2046±242	고
	육성사	446±69	중	568±79	중	689±89	고
	비육사	498±78	중	725±87	고	777±96	고
I	분만사	204±42	저	271±38	저	153±41	저
	자돈사	109±13	저	321±68	중	222±62	저
	육성사	416±75	중	398±57	중	756±43	고
	비육사	456±63	중	658±98	고	895±89	고
K	분만사	86±11	저	103±9	저	22±5	저
	자돈사	109±19	저	121±11	저	91±18	저
	육성사	196±42	저	339±89	중	585±83	중
	비육사	226±39	저	512±77	고	445±68	중
L	분만사	201±47	저	165±59	저	276±48	저
	자돈사	346±71	중	422±81	중	223±68	저
	육성사	521±39	중	596±69	중	668±77	고
	비육사	359±41	중	321±54	중	244±33	저
N	분만사	102±17	저	132±32	저	77±12	저
	자돈사	443±33	중	786±93	고	1089±156	고
	육성사	286±45	저	853±97	고	1263±143	고
	비육사	569±49	중	1023±112	고	1865±96	고
	분만사	325±58	중	423±51	중	298±38	저

<세균성 호흡기 질병에 대한 백신 체계 및 예방(치료) 체계 실태>

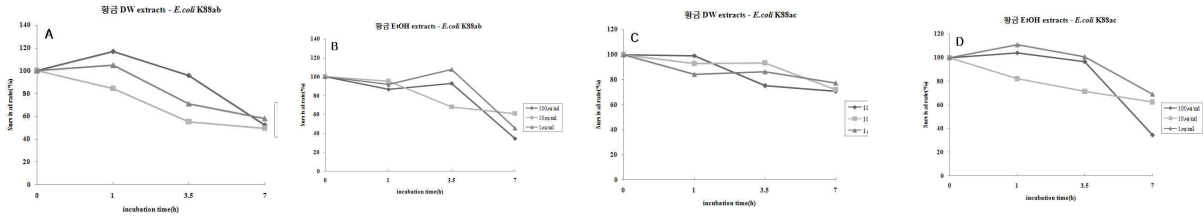
농장		백신체계	치료체계	비고
우수	A	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	B	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	C	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	J	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
보통	D	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	E	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	F	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	G	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	H	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	M	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
불량	I	전체적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	K	전체적 취약	자가진료	
	L	비교적 양호	수의사 처방, 자가진료	
	N	비교적 양호	수의사 처방, 자가진료	

<세균성 호흡기 질병에 대한 방어항체가 유지 현황>

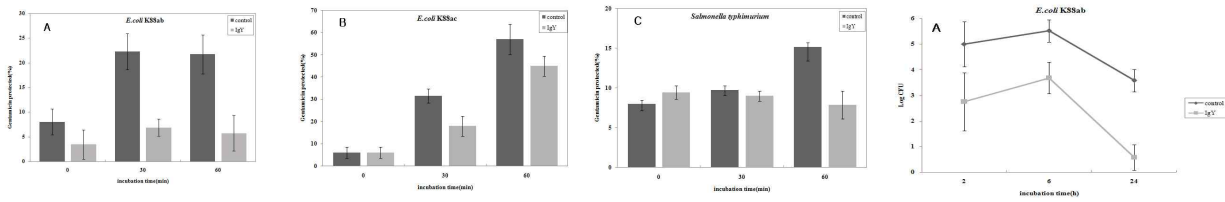
농장		호흡기방어항체가유지	취약질병	비고
우수	A	전체적 양호	비육돈 흉막폐렴	
	B	전체적 양호	육성돈 MH	
	C	전체적 양호	비육돈 흉막폐렴	
	J	전체적 양호	비육돈 흉막폐렴	
보통	D	전체적 양호	육성돈 MH, 흉막	
	E	비교적 양호, PmD 취약	육성돈 그래서, 흉막	
	F	비교적 양호, PmD, AR 취약	비육돈 흉막	
	G	비교적 양호, MH 취약	육성 MH, 비육돈 흉막	
	H	전체적 양호	육성돈 MH, 흉막	

불량	M	전체적 양호	육성돈 MH, 홍막
	I	전체적 취약	육성돈 PRDC
	K	비교적 양호, PmD, AR 취약	비육돈 홍막
	L	전체적 양호	비육돈 홍막
	N	전체적 양호	후보돈 홍막

■ 생물소재의 가축소모성 질병 병원균에 대한 항균 효과 규명



<황금의 주요 가축소모성성 질병 원인균에 대한 항균효과>



<IgY의 주요 가축소모성성 질병 원인균에 대한 항균효과>

제 2 절 연구성과 목표 대비 실적

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2013)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	사육형태별 번식생산성 비교평가	100	스톨, 군사, 솔더 사육시스템의 번식생산성 비교평가
		임신단계 적용 사양시스템에 의한 생산성 규명	100	임신단계에서 섬유소원료의 추가급여에 따른 모돈 및 자돈의 생산성 평가
	<제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발	사양관리 조건 탐색	100	가축의 최적 사양관리 조건 탐색 관행축사의 전기 사용량 및 이산화탄소 발생량 조사
		태양열을 활용한 돈사 모델 구축	100	양돈장 규모별 최적 설비 조건 탐색
	태양열을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구	100	태양열 발생 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구	
<제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적	우리나라 돈사유형별, 성장단계별 돈사의 악취 및 온실가스 특성 분석 (GC-MS) 및 이의 분류화	80	돈사형태별, 성장단계별 악취 및 온실가스 성분분석	

	돈사모델 개발	실용적 pilot악취저감시스템-연계 환기시스템 설계 및 설비	100	우리나라 특성적 돈사의 온실가스 및 악취가스 에 근거한 실용적 (SEC) 악취저감시스템-연계환기시스템 개념개발, 설계, 설비	
		GHOG 감응관리시스템 구축	50	실용적 GHOG 감응센서 탐색 및 실시간 data logging시스템구축	
	〈제3협동과제〉 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	사육시설과 암모니아 가스 농도가 분만모돈(수유모돈)의 복지에 미치는 영향 규명	100	시설간 환경 측정 평가 분석	
			100	시설간 분만모돈 생산성 비교 평가	
			100	분만모돈의 복지를 위한 적정 호르몬 농도 제시	
			100	돼지 생식기 호흡기 증후군 질병 양상을 ELISA 항원 항체 반응을 통해 비교, 분석	
			100	복지형 사육시설 제시	
			100	복지형 사양관방법(환경기준) 제시	
	2차 년도 (2014)	〈제1세부과제〉 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	○ 스톨 vs RFID 군사시스템 vs Shoulder 사육시스템 번식생산성 비교평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	스톨, 군사, 숄더 사육을 통하여 연산성의 비교평가
			○ 임신단계에서 섬유소 추가급여에 따른 번식생산성 평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	임신단계 섬유소 추가급여를 통한 연산성의 비교평가
〈제1협동과제〉 에너지 저감형 돈사 모델 개발		지열을 활용한 돈사 모델 구축	100	업체조사 및 가격 조사 양돈장 규모별 시설 구축비 및 예상 효율 조사 모델 구축을 통한 운영 효과 조사	
		지열 돈사 작동시스템 연구	100	지열돈사의 온도유지 작동 시스템 연구	
		지열을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구	100	지열 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구	
		동물복지농장에 대한 조사	100	동물복지 농장의 전기사용량 조사 신재생에너지에 대한 의견 조사	
〈제2협동과제〉 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발		실용적 환기시스템-GHOG 저감시스템 통합적 유체동력학적 검증	100	실내환기시스템- pilot GHOG시스템의 작동시 유체동역학적 효율분석여부 - 틈새면적/전면적<10%; 정압 :10~30Pa유지	
		악취 및 온실가스저감을 위한 복합미생물군(MM)의 개발 및 MM접종 바이오필터장착 악취제거 시스템 개발	100	악취 및 온실가스저감을 위한 복합미생물군(MM)의 개발 및 전해수제조	
			100	미생물 접종 바이오필터를 이용한 악취제거 시스템 개발여부 - GHOG삭감효율을 만족하면서 소요환기율을 유지할 수 있는지?	

				평가
			100	개발미생물/전해수 in-lab biofilter 접종 및 이의 삭감효율 정량화 - NH3<3ppm, H2S<20ppb, CO2<3000ppm
		GHOG 저감을 위한 filter pad에 전해수(電解水) 적용 및 이의 효 율분석	100	악취 및 온실가스저감을 위한 전해 수(電解水) 제조 및 특성분석여부 전해수 biofilter pad접종 및 이의 악취 삭감효율 악취농도 만족여부 - NH3<3ppm, H2S<20ppb, CO2<3000ppm
3차 년도 (2015)	〈제3협동과제〉 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	사육시설과 암모니아 가스 농도 가 임신돈의 복지에 미치는 영 향 규명	100	시설간 환경 측정 평가 분석
			100	시설간 임신돈 생산성 비교 평가
			0	임신돈의 복지를 위한 걱정 호르몬 농도 제시(농장주가 유사산을 우려 하여 채혈을 강하게 반대하여 채혈 을 하지 못함)
			100	복지형 사육시설 제시
			100	복지형 사양관방법(환경기준) 제시
3차 년도 (2015)	〈제1세부과제〉 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모든 사양시스템 구축 및 개발	스톨 vs RFID 군사시스템 vs Shoulder 사육시스템 번식생산 성 비교평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	스톨, 군사, 솔더 사육을 통하여 연 산성의 비교평가
		임신단계에서 섬유소 추가 급여 에 따른 번식생산성 평가 (3년 간 6산 이상 평가)	100	임신단계 섬유소 추가급여를 통한 연산성의 비교평가
	〈제1협동과제〉 에너지 저감형 돈사 모델 개발	지열을 활용한 돈사 모델 구축	100	업체조사 및 가격 조사 양돈장 규모별 시설 구축비 및 예 상 효율 조사 모델 구축을 통한 운영 효과 조사
		지열 돈사 작동시스템 연구	100	지열돈사의 온도유지 작동 시스템 연구
		지열을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구	100	지열 에너지의 최적 운영방안에 대 한 연구
	동물복지농장에 대한 조사	100	동물복지 농장의 전기사용량 조사 신재생에너지에 대한 의견 조사	
3차 년도 (2015)	〈제2협동과제〉 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	GHOG저감 시스템 효율분석결 과 최적시스템 정립	100	이의 경시적 GHOG 저감 효율분석 GHOG 화합물 9종 기준농도 만족 여부 돈사내·외 GHOG를 대변할 수 있는 지표개발 및 GHOG 9종과의 상관 성 분석
		공기질, 생산성, 돼지 스트레스 와의 상관성 분석	100	요인 간 상관성 분석 질병, 생산성, 미세먼지, 악취, 동물

				행동 돼지의 스트레스 홀몬과 면역력
		□ GHOG 저감 시스템 표준화	100	GHOG 저감시설의 현장적용
	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	○ 사육밀도와 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성비육돈 의 복지에 미치는 영향 규명	100	사육밀도와 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성비육돈의 복지에 미치는 영향 규명

제 2장 국내외 기술개발 현황

- 공장식 축산은 세계적으로도 문제점이 지적되고 있어 유럽연합은 회원국들에 비인도적 방식의 스톨을 이용한 돼지 사육을 2013년 1월 1일부터 금지하여 전자식 모돈 급이 시스템을 이용하여 군사사육을 진행하고 돼지의 임신기간 중 첫주와 분만 전 1주를 제외한 나머지 기간에는 돼지가 자유롭게 활동할 수 있도록 규제하였다.
- 모돈 군사 관리 시스템에 대한 연구는 오랜시간 지속적으로 진행되었으며 그 효율을 다음과 같다.
- 모돈의 연산성 향상
 - 모돈은 양돈장의 가장 중요한 자산으로 모돈의 경제수명이 길수록 생애 총 생산 자돈 수가 증가하여 ROA(총자산 이익률)을 극대화 할 수 있다. 모돈의 경제수명은 군사관리를 통하여 충분한 운동을 통하여 증가시킬 수 있으며 임신돈의 스톨 사육과 군사 사육의 생산성 비교는 이미 전 세계적으로 수 많은 연구 결과가 나와 검증되어 있다.
- 모돈의 2산차 문제의 해결
 - 2산차 증후군이라 불리는 현상으로 2산차에 발생하는 생산성 저하 현상이다. 2산차 이하의 어린 모돈들은 성 성숙이 이루어졌다고 해도 아직까지 완전한 성숙은 이루어지지 않은 상태이기 때문에 이 기간 중에 장 시간 스톨 사육은 완전한 체 성숙에 악영향을 미치게 되고 이에 따라 지체 불량, 번식 장애 등의 2산차 문제를 발생시켜 농장 전체의 도태율을 높이고 있다. 따라서 후보돈 단계부터 군사 관리를 통하여 지속적으로 운동을 진행한 모돈은 2산차 증후군 없이 고산차까지 꾸준하게 높은 생산성을 얻을 수 있다.
- 건강한 자돈 생산
 - 임신기간 충분한 운동은 모돈의 분만시 난산의 발생을 줄여주고 또한 분만 시간이 매우 짧아져 모돈의 생식기 질환 및 번식장애를 예방할 수 있고 운동중 모돈의 자궁 내에 혈액순환이 잘 되어 건강한 자돈을 생산하여 폐사율 저감 및 PSY 증가 효과를 나타낼 수 있다.

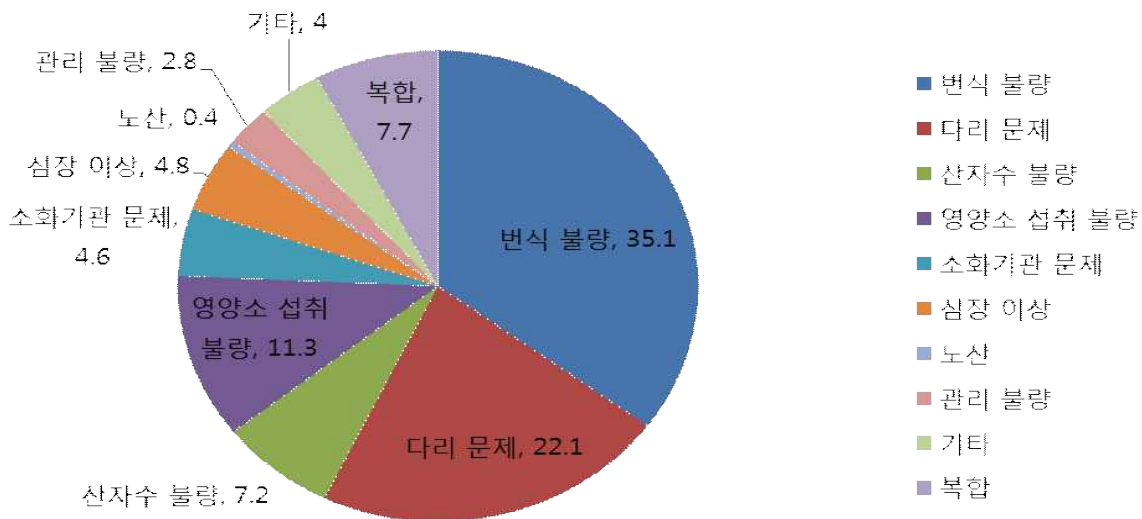


그림 1. 모돈의 도태형태별 비율 (Mote 등, 2009)

- 전자식 모돈 급이 시스템의 장점으로 네덜란드의 TOPIG사에서 2010년 7월에 발표한 결과로 2008년~2009년도의 기간 동안 네덜란드에 소재한 59개 농장의 모돈 40,000두의 TOPIG 모돈을 가지고 실험한 결과에서 스톨에서 사육하는 모돈보다 군사 관리를 통하여 사육하는 모돈에서 생산된 포유자돈의 평균 생시체중이 61g이 더 높다는 것을 보여주고 있다.

표 1. 임신기 모든 사육방법에 따른 생산성

	스톨사육	군사사육
산자수		
산자수	11.6	10.9
실산자수	10.1	10.4
사산수	1.56 ^a	0.50 ^b
28일 후 자돈수	9.5	10.2
생존율 (%)		
실산자수/산자수	88.3 ^b	95.4 ^a
사산수/산자수	11.7 ^a	4.6 ^b
28일 후 자돈수/산자수	84.2	93.1
자돈체중 (kg)		
총 생시체중	16.02	16.82
실 생시체중	13.92	15.94
사산 총 체중	2.10 ^a	0.88 ^b
28일 후 체중	68.20 ^b	75.80 ^a

^{a,b} 유의차 있음(p<0.05) (Weng 등, 2009)

- 국내에서는 2013년부터 농림축산검역본부에서 돼지를 대상으로 인증제를 도입하여 다음과 같은 기준으로 운영중이다.
- 인증기준

가. 돼지의 관리 방법

구 분	구 비 요 건
관리자 의무	<p>(1) 관리자는 다음 사항을 기록한 사육·유통 관련 자료를 2년 이상 보관하고, 관계기관이 열람을 요구할 때는 이를 제공해야 한다.</p> <p>① 동물의 입식·출하 현황 폐사체 관리현황</p> <p>② 성장 단계별 사육 개체수(자돈, 육성돈, 비육돈, 임신모돈, 종모돈 등) 및 돈사 내부면적(휴식공간 별도 표시)</p> <p>③ 사료의 생산·구입, 영양성분 및 급여내용</p> <p>④ 사료 섭취량 및 음수량(음수량은 측정이 가능할 경우에만 기록)</p> <p>⑤ 돈사 내 일일 최고 및 최저 온도</p> <p>⑥ 청소 및 소독내용</p> <p>⑦ 깔짚 소요내역 및 구입 증빙자료</p> <p>⑧ 질병예방 프로그램</p> <p>⑨ 약품, 백신 구입·사용내용 및 질병관리 현황</p> <p>⑩ 돼지의 건강상태 등 점검 내용</p> <p>⑪ 기계화·자동화 설비, 경보장치, 보조전력 공급장치 등의 점검내용</p> <p>⑫ 출하량 및 운송차량, 출하처 별 거래내역</p> <p>(2) 관리자는 화재, 수해, 정전, 자동화 설비의 고장 등 긴급 상황에 대한 적정한</p>

구 분	구 비 요 건
	<p>대비계획을 수립하여 운영하여야 한다.</p> <p>① 긴급 상황에서도 사료와 물을 급여하고 환기를 할 수 있도록 대비해야 한다.</p> <p>② 긴급 대비계획에 대한 내용을 정기적으로 점검하고 보완해야 한다.</p> <p>(3) 관리자는 돼지고기 이력제 등에 참여하여 농장 이력 추적이 가능하게 하여야 한다.</p>
<p>돼지의 건강 상태 등 점검</p>	<p>(1) 관리자는 돼지가 병들거나 상처 입었거나 이상행동을 보이는 지 다음 사항에 따라 매일 1회 이상 정밀 점검을 실시하여야 한다.</p> <p>① 돼지가 고통이나 스트레스를 받지 않도록 조심스럽게 돼지를 다루거나 점검하여야 한다.</p> <p>② 무리에서 따돌림, 빠르거나 불규칙적인 호흡, 기침, 설사, 식욕부진 등과 이상행동 여부를 관찰한다.</p> <p>③ 사육환경 또는 질병 등에 의해 고통을 받고 있는 돼지가 있는지 확인한다.</p> <p>(2) 점검을 통해 이상행동을 하거나 질병 및 부상 등 고통을 받는 돼지가 발견되면 적합한 방식으로 신속하게 조치를 취해야 한다. 만일 관리자가 조치하기 어려우면 가능한 빨리 수의사의 진료를 받아야 한다.</p> <p>(3) 점검이 끝나면 관리자는 다음 사항의 점검 내용에 대해 기록을 남겨야 한다. (다음의 기록사항이 있을 경우에 날짜와 함께 기록)</p> <p>① 폐사 및 도태 수와 사유, 도태 방법</p> <p>② 이상행동을 하거나 질병 및 부상당한 돼지의 수와 원인, 조치내용</p>
<p>건강관리</p>	<p>(1) 관리자는 돼지의 질병을 예방하도록 수의사의 자문을 받아 예방 접종 등 질병 예방 계획을 수립하여야 한다(수의사의 서명 포함).</p> <p>(2) 관리자의 질병예방 계획에는 다음 사항이 포함되어야 한다.</p> <p>① 살모넬라·대장균 등에 의한 질병 관리 프로그램</p> <p>② 백신 접종 프로그램</p> <p>③ 내·외부 기생충 관리 프로그램</p> <p>④ 병들거나 상처입은 동물의 격리 절차</p> <p>⑤ 파행 등 발 질병 관리 방법</p> <p>(3) 관리자는 돼지의 다리와 발 상태를 면밀하게 관찰해야 하며, 파행, 발의 비정상적인 마모, 염증 등이 있는 경우 원인을 찾아서 적절한 조치를 취해야 한다.</p> <p>(4) 필요 시 내·외부 기생충은 적절한 방법으로 방제한다.</p>

구 분	구 비 요 건
	<p>(5) 질병이나 상처가 있는 돼지는 격리시설에 격리하여 치료한다.</p> <p>(6) 수의사가 정기적으로 방문하여 돼지의 질병 등에 대해 점검하여야 한다.</p>
동물관리	<p>(1) 돼지의 꼬리, 귀, 다리 또는 기타 신체부위를 잡아당기거나 끄는 등 강압적인 행위를 원칙적으로 해서는 안된다.</p> <p>(2) 다음의 경우를 제외하고는 돼지를 보정 또는 감금해서는 안 되며, 이 경우에도 필요 이상으로 보정 또는 감금해서는 안된다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 수의학적 목적으로 실시하는 검사, 혈액채취 및 치료 ② 특정 사료의 급여 ③ 표식, 세척 및 체중측정 ④ 축사 내 청소 ⑤ 인공수정 ⑥ 운송을 위한 대기 <p>(3) 돼지는 기존 무리와 새로운 무리가 섞여 싸움이 일어나지 않도록 가능한 무리 구성원의 변화가 없도록 관리해야 한다.</p> <p>(4) 무리 내 경산돈과 후보돈 사이에 싸움이나 괴롭힘이 발생하지 않도록 대책을 강구해야 한다.</p> <p>(5) 돼지들에게 외상이 발생할 정도로 심하게 싸울 경우, 이를 방지하기 위해 환경이나 관리방법을 변경하여야 한다.</p> <p>(6) 돼지의 행동욕구를 충족시킬 수 있도록 보조물을 제공해야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 먹을 것을 찾아 코로 파헤치고 발로 긁거나 씹는 행동욕구를 충족시킬 수 있도록 짚, 나무조각, 톱밥, 가축 끈 등 적합한 보조물을 제공해야 한다. ② 다른 돼지의 꼬리, 옆구리, 귀, 음문 등을 무는 등 비정상적인 행동을 할 경우 씹거나 입으로 가지고 놀 수 있는 흥미있는 보조물을 즉시 제공해야 한다. <p>(7) 농장 내에서 돼지를 이동시킬 경우, 상처나 고통을 받지 않도록 적절한 방법을 사용하여야 하며, 낮선 환경에 따른 스트레스를 받지 않도록 충분한 시간적 여유를 가지고 이동시켜야 한다.</p>
급여	<p>(1) 모든 돼지는 품종, 연령 등에 따라 영양 균형이 맞는 사료를 매일 1회 이상 충분히 섭취할 수 있어야 한다. (수의사의 처방 시 제외)</p> <p>(2) 사료나 물을 먹기 어려운 돼지가 있으면 적합한 조치를 취해야 한다.</p> <p>(3) 포유류 또는 조류 유래 단백질을 포함하는 사료를 제공하여서는 안 된다. 다만, 우유, 계란 유래 단백질은 제외한다.</p> <p>(4) 돼지가 먹을 수 있는 풀을 제공하여야 한다.</p>

구 분	구 비 요 건								
	<p>(5) 급이기의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 급이기는 모든 돼지의 접근이 용이한 위치에 오염이 되지 않도록 설치하고 관리해야 한다.</p> <p>② 제한 급여를 할 경우, 모든 돼지가 동시에 먹을 수 있는 급이공간이 확보되어야 한다.(어깨넓이의 1.1배 이상)</p> <p>③ 무제한 급여를 할 경우, 1개의 급이공간(1마리가 사료를 먹을 때 필요한 공간)당 돼지 수의 제한은 다음과 같다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 급이공간을 나누는 칸막이가 없는 건식 급이기 : 최대 6마리 - 칸막이가 있는 급이기 : 최대 10마리 - 습식 급이기 : 최대 14마리 <p>④ 습식 급이기에는 급이공간을 나누는 칸막이가 있어야 한다.</p> <p>⑤ 전자식 급이기는 적절한 수량을 설치하여야 한다.</p>								
급수	<p>(1) 수의사의 별도 지시가 있는 경우를 제외하고, 모든 돼지는 항상 신선하고 깨끗한 물을 충분히 섭취할 수 있어야 한다.</p> <p>(2) 물은 최소 1년에 1회 이상 정기적으로 검사하고 그 기록을 2년 이상 보관해야 하며, 수질 기준은 「지하수의 수질보전 등에 관한 규칙」 제11조에 따른 생활용수 수질기준에 적합해야 한다. 다만 일반세균은 1mL 중 1,000CFU(Colony Forming Unit)를 초과해서는 안된다.</p> <p>(3) 겨울에도 급수가 항시 가능하도록 대책을 마련하여야 한다.</p> <p>(4) 급수기의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 급수기는 모든 돼지의 접근이 용이한 위치에 오염이 되지 않도록 설치하고 관리해야 한다.</p> <p>② 돼지 10마리당 1개의 급수공간(1마리가 물을 먹을 때 필요한 공간)을 제공해야 한다.</p> <p>③ 사료조에 물을 담아 제공할 경우 사료조의 기준은 다음과 같다.</p> <table border="1" data-bbox="319 1590 1412 1825"> <thead> <tr> <th>체중, kg</th> <th>사료조 1m당 최대 마리수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 25</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>25~40</td> <td>84</td> </tr> <tr> <td>> 40</td> <td>67</td> </tr> </tbody> </table> <p>④ 급수기의 유속은 사육단계별로 돼지가 필요한 수분섭취량을 충족시킬수 있어야 한다.</p> <p>⑤ 급수기가 같이 있는 급이기를 사용하는 경우에도 별도로 급수기를 설치하여야 한다(돼지 10마리당 1개 급수공간).</p>	체중, kg	사료조 1m당 최대 마리수	< 25	100	25~40	84	> 40	67
체중, kg	사료조 1m당 최대 마리수								
< 25	100								
25~40	84								
> 40	67								

구 분	구 비 요 건																
	<p>⑥ 사육단계별 니플형 급수기 유속기준은 다음과 같다.</p> <table border="1" data-bbox="461 322 1283 698"> <thead> <tr> <th>사육단계</th> <th>유속 (ml/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>이유까지</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>~ 20kg</td> <td>500~1000</td> </tr> <tr> <td>20~40kg</td> <td>1000~1500</td> </tr> <tr> <td>100kg까지</td> <td>1000~1500</td> </tr> <tr> <td>미경산돈 및 임신돈</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>수유 분만돈</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>웅돈</td> <td>2000</td> </tr> </tbody> </table>	사육단계	유속 (ml/min)	이유까지	300	~ 20kg	500~1000	20~40kg	1000~1500	100kg까지	1000~1500	미경산돈 및 임신돈	2000	수유 분만돈	2000	웅돈	2000
사육단계	유속 (ml/min)																
이유까지	300																
~ 20kg	500~1000																
20~40kg	1000~1500																
100kg까지	1000~1500																
미경산돈 및 임신돈	2000																
수유 분만돈	2000																
웅돈	2000																
준수사항	<p>(1) 자돈은 생후 28일 이전에 이유해서는 안 된다. 다만 다음의 경우에는 그러하지 아니한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 모돈이나 자돈의 건강과 복지에 저해된다고 수의사가 판단하여 지시하는 경우 ② 모돈사와 분리되어 있으며, 완전히 비어있고 내부의 청소 및 소독상태가 완벽한 자돈사로 옮기는 경우에는 최대 7일 빠르게(21일령 이상) 이유할 수 있다. <p>(2) 돼지의 단미는 금지한다. 다만 꼬리물기 피해로 인해 동물복지가 저해된다고 수의사가 처방하는 경우에는 그러하지 아니한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 단미시술을 할 경우 꼬리는 필요에 따라 최소한의 길이만 자르되 꼬리의 절반 이상을 제거해서는 안 된다. ② 수의사가 서명한 관련 서류에는 다음 사항이 포함되어야 한다. <ul style="list-style-type: none"> - 해당 시설의 꼬리물기 피해상황(발생 일자, 피해 돼지의 수, 발생 빈도, 피해 사진 등) - 꼬리물기를 완화시키기 위해 시도한 단미시술 이외의 방법 및 결과 - 단미시술 방법 및 사용 장비 - 꼬리물기 재발방지를 위한 대책 <p>(3) 모든 돼지는 군사사육을 원칙으로 하며, 스톨 내 감금사육은 금지한다. 다만 임신돈의 안정과 유산 방지를 위하여 교미 또는 인공수정 후부터 4주까지는 스톨에서 사육할 수 있다.</p> <p>(4) 신생자돈의 송곳니 발치 또는 절치는 금지하며, 모돈의 복지에 저해되는 경우에 한하여 연삭만 허용된다.</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 수의사 또는 숙련된 자가 송곳니 연삭을 실시하여야 하며 송곳니의 날카로운 부위만 제거해야 한다. ② 생후 48시간 이내에 실시하는 것을 원칙으로 하고, 약하고 병든 자돈에 한하 																

구 분	구 비 요 건
	<p>여 생후 3일 이내에 실시할 수 있다.</p> <p>(5) 비외과적 방법을 이용하여 웅취를 제거하거나 웅취가 안나는 품종을 이용하는 등 외과적 거세를 하지 않도록 노력해야 한다.</p> <p>① 외과적 거세를 할 경우 수의사나 숙련된 자가 생후 7일 이전에 하여야 하며, 거세 후 자돈의 상태를 면밀하게 관찰하여 염증 등이 발생하면 신속하게 치료해야 한다.</p> <p>② 생후 7일 이후에는 수의사만 외과적 거세를 실시할 수 있다.</p> <p>(6) 이표(또는 자돈의 이각), 마킹, 문신은 수의사나 숙련된 자가 적합한 도구를 이용하여 위생적인 환경에서 실시하여야 한다.</p> <p>① 이각은 한 쪽 귀에만 실시할 수 있다.</p> <p>(7) 전기봉을 보유하거나 사용해서는 안 된다.</p> <p>(8) 다른 농장에서 돼지(웅돈, 후보돈 제외)를 입식하는 경우에는 동물복지 인증 축산농장에서 생산·사육된 돼지만 입식하여야 한다.</p> <p>(9) 농장 내에 돼지 이외의 동물을 식용을 목적으로 사육해서는 안 된다.</p>
도태	<p>(1) 해결할 수 없는 극심한 고통을 겪고 있는 돼지는 즉시 동물복지를 고려한 방법으로 도태시켜야 한다.</p> <p>(2) 돼지의 고통을 최소화하기 위한 도태는 수의사가 실시하여야 한다. 다만 동물복지 교육을 이수한 자 등 숙련된 자가 다음의 방법으로 실시하는 도태는 허용한다.</p> <p>① 4주령 이하의 자돈의 경우 둔기를 이용한 두부 중앙부위 타격</p> <p>② 가축총(captive bolt stunner), 전기충격기, 가스장치를 이용한 기절 후 즉시 방혈</p> <p>(3) 사체를 처리하게 전에 돼지가 죽었는지 반드시 확인하여야 한다.</p>

■ 사육시설 및 환경

구 분	구 비 요 건
사육시설	<p>(1) 돈사의 기준은 다음과 같다</p> <p>① 돈사는 가능한 충분한 자연환기와 햇빛이 제공되도록 시설하여야 한다</p> <p>② 사육 시설에 이용되는 재료와 구조는 날카로운 모서리나 돌출부 등 물리적·화학적 요소로 인해 돼지에게 스트레스를 주거나 해를 끼치지 않는 것이어야 하고, 철저히 소독하고 깨끗하게 관리해야 한다.</p> <p>③ 포식동물 및 쥐 등 설치류가 침입할 수 없도록 축사를 설계·관리해야 하며</p>

구 분	구 비 요 건																		
	<p>해충, 기생충에 대한 방제계획을 수립하고 이행해야 한다.</p> <p>(2) 분만실의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 분만실은 모두가 편한 자세로 몸을 완전히 뻗어 누울 수 있는 충분한 길이여야 하며, 모두가 분만 5일 이후에는 최소한 한방향으로 쉽게 몸을 앞뒤로 돌릴 수 있어야 한다.</p> <p>② 분만실은 모든과 자돈에게 안락함을 줄 수 있도록 설계 및 관리가 되어야 한다.</p> <p>③ 자돈이 압사되지 않는 구조이거나 보호시설이 설치되어 있어야 한다.</p> <p>④ 분만 예정일 7일 이전에 모돈을 분만실로 옮겨서는 안된다. 다만 분만실이 항상 최소한 한 방향으로 쉽게 몸을 앞뒤로 돌릴 수 있는 구조일 경우에는 최대 10일까지 허용할 수 있다.</p> <p>(3) 격리실의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 충분한 수의 격리실을 갖추고 격리 사유에 따라 적합한 위치에 배치해야 한다.</p> <p>② 청결하고 건조한 상태의 깔짚이 깔려있어야 한다.</p> <p>③ 사용하지 않는 기간에는 내부를 비우고, 청소와 소독을 해야 한다.</p> <p>(4) 모든 바닥과 이동 통로는 미끄럽거나 심하게 경사지지 않아야 한다.</p>																		
사육공간	<p>(1) 체중별 두당 휴식공간 및 최소 소요면적은 다음과 같다.</p> <table border="1" data-bbox="347 1279 1398 1585"> <thead> <tr> <th>체중, kg</th> <th>최소 휴식공간 면적, m²</th> <th>최소 소요면적, m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 이하</td> <td>0.1</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>10~20 미만</td> <td>0.13</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>20~30 미만</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>30~60 미만</td> <td>0.36</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>60 이상</td> <td>0.66</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>① 배설물 청소는 2회/주 이상 하여 항상 위생적이고 깨끗한 환경을 유지하여야 한다.</p> <p>② 특별한 경우를 제외하고 휴식공간은 벽, 층 등으로 구분되어야 한다.</p> <p>③ 단, 휴식공간에 깔짚을 제공하지 않는 경우에는 휴식공간의 면적을 소요면적의 33% 이상으로 적용할 수 있다. 이 경우 관리자는 동물의 건강과 복지가 저해되지 않는다는 것을 증명하여야 한다.</p> <p>(2) 깔짚이 전체적으로 충분히 깔려있는 경우의 최소 소요면적은 다음과 같다.</p>	체중, kg	최소 휴식공간 면적, m ²	최소 소요면적, m ²	10 이하	0.1	0.15	10~20 미만	0.13	0.2	20~30 미만	0.2	0.3	30~60 미만	0.36	0.55	60 이상	0.66	1.0
체중, kg	최소 휴식공간 면적, m ²	최소 소요면적, m ²																	
10 이하	0.1	0.15																	
10~20 미만	0.13	0.2																	
20~30 미만	0.2	0.3																	
30~60 미만	0.36	0.55																	
60 이상	0.66	1.0																	

구 분	구 비 요 건													
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">체중, kg</th> <th style="text-align: center;">최소 소요면적, m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">30~60 미만</td> <td style="text-align: center;">0.8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60 이상</td> <td style="text-align: center;">1.3</td> </tr> </tbody> </table>		체중, kg	최소 소요면적, m ²	30~60 미만	0.8	60 이상	1.3						
체중, kg	최소 소요면적, m ²													
30~60 미만	0.8													
60 이상	1.3													
	<p>① 배설물 청소 및 깔짚 보충·교체를 1회/3주 이상 하여 항상 위생적이고 깨끗한 환경을 유지하여야 한다.</p> <p>② 단, 온도·습도·환기·암모니아 농도를 자동제어장치로 관리하고 환경 제어 및 관리 상태가 우수하다고 인정(사육단계별 권장 온도 등 참고, 이하 같음)되는 경우에는 60kg 이상의 최소 소요면적을 1.0m² 이상으로 적용할 수 있다.</p> <p>(3) 깔짚이 전체적으로 충분히 깔려있고 배설물 청소 대신 정기적으로 깔짚을 충분히 보충하는 경우의 최소 소요면적은 다음과 같다.</p>													
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">체중, kg</th> <th style="text-align: center;">최소 소요면적, m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">30~60 미만</td> <td style="text-align: center;">1.4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60 이상</td> <td style="text-align: center;">1.6</td> </tr> </tbody> </table>		체중, kg	최소 소요면적, m ²	30~60 미만	1.4	60 이상	1.6						
체중, kg	최소 소요면적, m ²													
30~60 미만	1.4													
60 이상	1.6													
	<p>① 정기적으로 깔짚을 충분히 보충하여 항상 위생적이고 깨끗한 환경을 유지하여야 한다.</p> <p>(4) 두당 휴식공간 및 최소 소요면적은 다음과 같다.</p>													
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">구 분</th> <th style="text-align: center;">최소 휴식공간 면적, m²</th> <th style="text-align: center;">최소 소요면적, m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">후보돈</td> <td style="text-align: center;">0.92</td> <td style="text-align: center;">2.3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">임신돈</td> <td style="text-align: center;">1.3</td> <td style="text-align: center;">3.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">웅돈</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">6.8</td> </tr> </tbody> </table>		구 분	최소 휴식공간 면적, m ²	최소 소요면적, m ²	후보돈	0.92	2.3	임신돈	1.3	3.0	웅돈	-	6.8
구 분	최소 휴식공간 면적, m ²	최소 소요면적, m ²												
후보돈	0.92	2.3												
임신돈	1.3	3.0												
웅돈	-	6.8												
	<p>① 단, 깔짚이 전체적으로 충분히 깔려있고 배설물 청소 대신 정기적으로 깔짚을 충분히 보충하는 경우에는 임신돈 3.5m², 후보돈 2.5m², 웅돈 7.5m² 이상의 소요면적을 제공하여야 한다.</p> <p>② 단, 온도·습도·환기·암모니아 농도를 자동제어장치로 관리하고 환경 제어 및 관리 상태가 우수하다고 인정되는 경우에는 임신돈의 최소 소요면적을 2.6 m² 이상으로 적용할 수 있다. 또한 돈방 당 사육규모가 100마리 이상인 경우에는 최대 10% 까지 소요면적을 감할 수 있다.</p>													
	<p>(5) 휴식공간의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 구멍이 나있는 천공성 바닥이어서는 안 된다.</p> <p>② 돼지에게 편안함을 제공할 수 있도록 후보돈, 임신돈, 육성돈, 비육돈의 휴식공간은 깔짚으로 덮여 있어야 한다.</p> <p>③ ②에도 불구하고 온도·습도·환기·암모니아 농도를 자동제어장치로 관리하고 환경 제어 및 관리 상태가 우수하다고 인정되는 경우에는 휴식공간에 깔</p>													

구 분	구 비 요 건
	<p>짚을 제공하지 않을 수 있다. 다만 동물관리 (6)에 해당하는 보조물을 충분히 제공하여 돼지의 행동욕구를 충족시켜야 하고 가능한 휴식공간의 바닥은 돼지에게 편안함을 제공할 수 있는 재질로 이루어져야 한다</p> <p>④ 배수가 잘 되는 구조이거나 충분한 양의 깔짚을 제공하여 청결하고 건조하게 유지하여야 한다.</p> <p>⑤ 돼지는 항상 휴식공간을 이용할 수 있어야 한다.</p> <p>(6) 깔짚의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 깔짚은 짚류, 왕겨, 톱밥 등을 포함한다.</p> <p>② 편안함을 제공하여야 한다.</p> <p>③ 흡수력이 있어야 한다.</p> <p>④ 돼지의 건강과 복지를 저해해서는 안된다.</p>
사육환경	<p>(1) 돈사 내 조명(照明)의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 돈사의 조명 시간은 매일 최소 8시간 이상의 연속된 명기(明期) 및 최소 6시간 이상의 연속된 암기(暗期)를 준수하여야 한다. 다만, 일광시간이 이보다 짧거나 길 경우에는 시간을 조정할 수 있다.</p> <p>② 조명도는 최소 40lux 이상이 되어야 한다.</p> <p>(2) 돈사 내 공기 오염도의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 높은 습도·응결·외풍을 방지하기 위해 효과적으로 환기가 이루어져야 한다.</p> <p>② 먼지 및 가스 농도는 사람이 심하게 불쾌감을 느끼는 수준이어서는 안 된다.</p> <p>③ 암모니아 농도는 25ppm을 넘어서는 안 된다.</p> <p>(3) 돈사 내 온도의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 적절한 단열 및 보온시설을 하여 극심한 고온 및 저온에서 돼지가 스트레스를 받지 않도록 하여야 한다.</p> <p>② 송풍팬, 분무시설 등 돼지의 열 스트레스 방지 대책을 세우고 필요 시 실행하여야 한다.</p> <p>③ 사육단계별 권장 온도는 다음과 같다.</p>

구 분	구 비 요 건															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="325 273 861 315">사육단계</th> <th data-bbox="861 273 1410 315">적정온도, °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="325 315 861 367">임신돈, 수유 분만돈</td> <td data-bbox="861 315 1410 367">15~20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="325 367 861 418">분만 72시간 이내 포유자돈</td> <td data-bbox="861 367 1410 418">25~28</td> </tr> <tr> <td data-bbox="325 418 861 470">분만 72시간 이후 포유자돈</td> <td data-bbox="861 418 1410 470">20~22</td> </tr> <tr> <td data-bbox="325 470 861 521">이유 초기</td> <td data-bbox="861 470 1410 521">첫 주 28°C, 매주 2°C씩 감소</td> </tr> <tr> <td data-bbox="325 521 861 573">이유 후기</td> <td data-bbox="861 521 1410 573">20~22</td> </tr> <tr> <td data-bbox="325 573 861 616">비육돈</td> <td data-bbox="861 573 1410 616">15~18</td> </tr> </tbody> </table>	사육단계	적정온도, °C	임신돈, 수유 분만돈	15~20	분만 72시간 이내 포유자돈	25~28	분만 72시간 이후 포유자돈	20~22	이유 초기	첫 주 28°C, 매주 2°C씩 감소	이유 후기	20~22	비육돈	15~18	<p>(4) 돈사 내 소음의 기준은 다음과 같다.</p> <p>① 돼지에게 스트레스를 가할 정도로 소음이 나는 설비는 사용하지 않아야 한다.</p> <p>② 환기 팬, 급이기 등의 시설로 인한 소음과 진동은 최소화해야 한다.</p>
사육단계	적정온도, °C															
임신돈, 수유 분만돈	15~20															
분만 72시간 이내 포유자돈	25~28															
분만 72시간 이후 포유자돈	20~22															
이유 초기	첫 주 28°C, 매주 2°C씩 감소															
이유 후기	20~22															
비육돈	15~18															
자동화·기계화 설비	<p>(1) 돼지의 사육에 이용하는 기계 및 자동화 설비는 1일 1회 이상 점검하여 결함이 없도록 관리해야 한다.</p> <p>(2) 설비의 결함이 발견되면 즉시 수리해야 하며, 바로 수리가 곤란할 경우에 대비하여 자동 급이·급수·환기 장치 등의 고장 시 대체할 수 있는 방법을 마련해 두어야 한다.</p> <p>(3) 설비의 결함 시 돼지가 불필요한 고통과 스트레스를 받지 않도록 보호할 수 있는 조치를 즉시 취해야 하며 결함을 수리할 때까지 돼지를 지속적으로 관리하여야 한다.</p> <p>(4) 주전원을 사용하는 모든 전기시설에 대해서는 다음 사항을 준수하여야 한다.</p> <p>① 돼지가 콘센트, 전선 등에 접근하지 못하도록 하여야 한다.</p> <p>② 적합하게 절연 및 접지해야 한다.</p> <p>③ 설치류에 의한 전기 사고를 예방하여야 한다.</p> <p>④ 접지 상태가 적합하여야 한다.</p> <p>⑤ 해당 관리 기관이나 자격 소지자에게 2년에 최소 1회 이상 검사를 받아야 한다.</p> <p>(5) 보조전력 공급장치 등 전기 장치 고장이나 정전에 대비한 대책을 세워 두어야 하며, 주로 인공 환기시설로 환기를 하는 경우 정전 및 환기시설 고장 시 경보하는 장치를 설치하여야 한다.</p> <p>(6) 예비대책과 경보체계에 대해서는 최소 1주에 1회 이상 철저히 검사해야 하고, 결함이 발견되면 즉시 수리하여야 한다.</p>															
청소 및	<p>(1) 농장과 사육 관련 시설과 장비는 청결하게 유지하여야 한다.</p>															

구 분	구 비 요 건
소독	(2) 돼지를 입식하기 전에 돈사를 비운 다음에 깨끗이 청소하고 철저히 소독하여야 한다. (3) 차단 방역을 위하여 돈사 및 주변 소독을 정기적으로 실시하여야 한다. (4) 농장 출입차량 및 출입자에 대해 소독을 하여야 한다. (5) 돈분의 적절한 처리에 관해서는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」 등 관련 법규를 준수하여야 한다.

- 이상과 같이 동물복지 축산농장인증에는 반드시 군사사육이 필요하지만 국내 약 70%가 1000두 이하의 농가로서 국내 보급되어 있는 전자식 모돈 급이 시스템의 이용에 있어 설치와 유지 비용 및 설치면적에 대하여 어려움이 있다.

- 동물생산시스템 복지지침 제정 추진
 - 동물복지형 농장동물의 시범사업 추진 및 시설 투자지원을 위해 정부는 FTA와 DDA 대책으로 2008년부터 2017년까지 향후 10개년 동안 축사시설 현대화를 위해 연평균 1,425억원을 투·융자 지원할 계획
 - 2010년 8월에 새롭게 입법 예고된 동물보호법 개정 법률안의 경우 농장동물복지와 관련하여 국제 기준에 부합하고 국내 현실에 기반을 둔 농장동물복지 가이드라인 개발을 전제로 제29조부터 제32조까지를 신설해 ‘농장 동물복지형 축산농장 인증제’와 ‘동물복지형 축산식품 표시제’ 도입 근거를 마련할 예정
 - 농장동물 복지에 대한 국내 기술개발·연구는 다른 분야에 비해 상대적으로 아직 미미할 뿐만 아니라 민간부문에서의 투자를 기대하기도 어려움
 - 친환경안전축산물 직접지불제는 친환경 축산을 확산시키기 위해 2009년부터 도입한 정책으로 축산업등록자 중 축산물 HACCP 지정을 받고 ‘친환경농업육성법’ 제17조의 규정에 의한 친환경축산생산물인증(유기 축산물·무항생제 축산물)을 받은 농가를 대상
 - 친환경 축산물 인증 및 HACCP 지정으로 축산물 안전성 확보 및 소비자 신뢰도 제고
 - 가축사육환경 개선으로 동물복지형 축산 실천 및 참여 유도를 위한 정책자금 지원
 - 가축분뇨 자원화를 위해 가축분뇨 에너지화 시설 확대
 - 2012년부터 축산업 허가제 도입

- 동물복지 축산농장 인증제 실시
 - 국내외적인 동물복지 수준 강화 추세 및 동물복지 축산물에 대한 소비자의 관심이 증가되고 있어 내년 2월부터 산란계를 시작으로 돼지(13년), 육계(14년) 등 동물복지 축산농장 인증제가 실시
 - 농장동물의 복지수준을 향상하기 위하여 강화된 기준의 동물복지를 실천하는 농장에 대하여 동물복지 축산농장 인증을 실시하고, 그 농장에서 생산된 축산물에 표시할 수 있도록 할 예정

- 동물복지 축산농장 인증제도는 농장동물의 사육과정에서 동물의 기본적인 자유를 보장하도록 함으로써 소비자에게는 윤리적으로 생산된 축산물을, 축산농가에게 지속가능한 축산업 기반을 제공할 수 있도록 하는 제도로, 동물복지 축산농장 인증은 희망하는 농가의 신청을 받아 농림수산검역검사본부에서 심사 후 동물복지 축산농장 인증서 및 인증마크를 부여받게 됨

■ 동물보호법 개정

- 동물학대자에 대한 징역형 부과, 동물복지축산농장 인증제 도입, 동물등록제 전국 확대 실시 등을 주요 골자로 하는 ‘동물보호법’이 내년 2월 시행
- 동물학대자에 대한 벌칙이 500만원 이하의 벌금에서 1년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금으로 상향되었으며, 지자체장이 자율적으로 시행해오던 동물등록제는 의무 시행으로 바뀌어 반려동물(개)을 키우는 소유자는 '13년부터 시·군·구에 반려동물과 관련된 정보를 등록해야 한다. 다만, 농어촌 일부지역 등은 시행에서 제외.
- 또한, 농장동물복지 향상을 위한 제도로 동물복지축산농장 인증제가 도입되어, 동물복지형 축산물의 소비가 가능하게 할 계획. 이외에도 신고·등록해야 하는 동물생산·수입·판매업의 축종범위가 개·고양이·토끼 등으로 확대

■ 우리나라 양돈 약취 및 온실가스환경의 문제점

- 우리나라 돈사는 원치커튼 개방형 약 77%, 밀폐형 23%로 시설되어 있으며(축산과학원 2011), 개방형 돈사는 실내약취를 저감할 수 있는 방법이 극히 제한적이므로 약취저감 설비가 거의 전무하여 거의 상시(常時) 약취와 온실가스가 주위로 발산(發散)되고 있는 실정임. 또한 대규모 양돈장일수록 밀폐돈사로 강제환기로 실내공기가 다량 포집하여 암모니아 및 황화수소 등의 고농도 약취가스 및 온실가스가 jet화 되어 배출되므로 확산이 단시간(temporal perspective)에 광범위(spatial perspective)하게 이루어지므로 민원이 빈발하고 있는 실정임.
- 가축분뇨로 인한 약취발생은 축우나 양계의 경우 깔개로 흡착되어 상대적으로 약취발산이 상대적으로 적으나, 양돈장에서이 슬러리는 뇨량(尿量)이 많기 때문에 약취의 발생이 두드러짐 (서울대 내부자료, 2000). 또한 우리나라의 경우 양돈장과 인근 마을간 거리가 채 1,000m 안되는 경우가 60%에 이르러 양돈장 약취로 인한 피해호소가 빈발함 (2011, 축산과학원)
- 2003년 이후 약취민원은 연평균 14.5%씩 증가하고 있으며, 이중 축산관련 민원은 해마다 7%씩 증가하고 있음 (2006, 환경부 내부자료)
- 경기도의 경우, 약취민원은 16건 (2003) → 115건 (2005)로서 약 7배 이상 증가하여 비축산인의 축산약취에 대하여 점차 민감해져 가는 경향임 (경기개발연구원, 2007)
- 양돈장의 약취민원은 가축분뇨 살포시(52%) > 돈사로부터(22%) > 분뇨저장시(17%)> 사료관련(8%)> 기타(1%) 순으로 가축분뇨의 토양환원시 약취민원이 가장 높게 보고됨 (축산과학원, 2009). 그러므로 현행 '6개월 이상 단순저장 후 농경지 살포'를 '적극적인 처리후 무취시 살포' 정책으로 전환해야 함.
- 고농도 약취 및 온실가스는 돈사에서 사육되고 있는 돼지의 생산성 저하는 물론이고

돼지 질병발생이 증가하며, 돈사내의 상시 작업자에게도 건강상 위해(危害)를 줄 가능성이 높으므로 (전북보건환경연구원, 2011) 실용적 돈사의 악취 및 온실가스 저감기술개발이 우선 과제임.

- 환경부의 연구용역 ('가축사육 제한구역 지정기준 권고안 마련을 위한 연구', (주)공간정보기술, 2011. 09.) 결과로 도출된 '축사간 최소제한거리'에 대한 권고를 전(全) 지자체에 전면적으로 확산시켜 조례화할 경우, 축산이 급격히 위축될 것으로 판단됨. 이 연구용역 주로 악취의 휘산거리를 중심으로 연구결과를 도출함. 이의 연구용역의 권고안이 각 지자체의 축산제한의 법적근거로 활용되고 있어 악취 및 온실가스의 저감시스템 개발이 지속적 양돈의 핵심현안으로 대두될 정도로 절실한 시점임.
- 우리나라 축산의 악취현황에 대한 연구는 의외로 제한적임. 유일한 과학적 검증은 2004년 환경부용역 ('우사-양계사 등에서 발생하는 악취배출 특성 및 저감방안연구', 2004. 06.)으로 당시 축산환경기술과 현재와는 현격한 차이가 있으므로 그 때를 기준으로 권고안을 제시하는 것은 비현실적인이며, 비과학적인 시책이 될 수 있으므로, 미래를 위한 지속적 축산을 위한 정량적 자료를 확보함으로써 설득력있는 축산정책을 입안할 수 있음.
- 최근 한-미, 한-EU 한-호주, 한-중국 등 FTA대응 양돈경쟁력강화의 일환으로 정부가 '축사시설 현대화' 사업(약 3조원)의 효율을 극대화하기 위하여 지원규모와 양돈장의 환경수준(특히 악취 및 온실가스의 발산농도)과 연계하여 축산환경의 수준을 선진국 수준으로 도약시킬 수 있는 우리나라 실정에 맞는 계기로 삼아야 함.

- 양돈장 내 스트레스 발생 요인에는 사육시설, 밀사, 공기 질, 각종 질병 원인체 등이 있으며, 현행 돼지 사육시설 및 문제점은 아래와 같음

사육단계	시설	문제점
임신돈	스톨	- 극단적 행동제한에 의한 스트레스 유발 - 스트레스에 의한 생산성 저하 - 동물복지 미 고려
분만모돈	분만틀	- 극단적 행동제한에 의한 스트레스 유발 - 스트레스에 의한 생산성 저하 - 동물복지 미 고려
이유자돈	군 크기 및 돈방 크기 (사육밀도)	- 고밀도 사육에 의한 행동제한 - 고밀도 사육에 의한 소모성질병 다발 - 동물복지 미 고려
육성/비육돈	군 크기 및 돈방 크기 (사육밀도)	- 고밀도 사육에 의한 행동제한 - 고밀도 사육에 의한 소모성질병 다발 - 동물복지 미 고려

- 돈사 주요 악취 및 온실가스의 돼지 건강성과의 상관성
 - 돈사 내 환기공기는 사료, 피부, 바닥 깔개, 건조분 입자, 세균 등 매우 다양한 부유입자(浮遊粒子)도 함유되어 있으며(Maghirang et al., 1995), 악취 등에 오염된 공기는 작업자나 돼지의 비강과 기도 뿐만 아니라 폐까지 위해(危害)하므로 (Carpenter, 1986; Donham et al., 1989; Seedorf et al., 1998; Kim et al., 2007) 악취화합물의 농도가 돈사내 작업자와 돼지의 건강에 지대한 영향을 미침을 인식할 필요가 있음.
 - 물질의 . 암모니아와 황화수소는 돼지의 생산성에 매우 부정적 영향을 미치며(Cai et al., 2006),
 - 축사내 먼지-악취간의 양적(陽的) 상관으로 분석되었으며, 이는 악취분자가 먼지입자에 흡착함으로써 먼지의 제거가 악취물질의 저감으로 이어짐을 보고함 (Day et al., 1965).
 - Kim et al. (2005)은 겨울철 온도와 돈사 내 악취물질-먼지-세균수 간의 상관성이 높은 것으로 보고함
 - Kruger(1995), Phillips et al. (2001)등의 연구에 따르면, 약 200종의 악취 원인물질이 양돈장에서 발생하는 악취에 포함되어 있는 것으로 밝혀졌고, 양돈장에서 발생하는 악취 원인 물질을 그 특성에 따라 질소대사물(N-compounds) 및 황대사물(S-compounds), 휘발성지방산류(VFA), 페놀류(Phenol)로서 본 제안연구에서 이들 악취 및 온실가스 화합물을 중심으로 분석할 필요가 있으며, 우리나라 양돈현장에서 이외의 화합물이 감응되면 고유한 악취환경을 보고할 수 있음.
 - 미국 Iowa주에서는 매년 ‘죽음의 돼지악취가스’에 의한 크고 작은 질환의 발생과 더불어 몇 건의 사망사고들이 보고되었고, 황화수소, 암모니아, 이산화탄소, 메탄이 4종의 악취 및 온실가스가 주 원인물질이다(Lornar et al., 1993). 이들 기체들은 일정농도 이상에서 짧은 기간 동안 피폭될 경우에도 사람과 가축 모두 가벼운 자극부터 사망까지의 증상을 보일 수 있으므로 악취화합물과 온실가스농도와 돼지, 작업자의 건강성 상관관계를 정밀하게 분석할 필요가 있음.

- 축산업 유래 악취 화합물과 공기전염 오염원의 문제([표 1])를 위한 해법이 필요한 시점이다. 악취 화합물과 공기전염 오염원 배출량은 언제나 축산업의 일부로 나타났다(NRC, 2003). 하지만 과거에는 낮은 인구밀도와 넉넉한 면적의 축산 환경으로 이루어져 있었으므로 악취가 큰 문제로 인식 되지 않았다. 이제는 협소한 면적에서 다수의 동물을 사육하는 밀집형 축산산업 시대가 되었으므로 악취 화합물과 오염원들이 점점 더 문제가 되고 있는 것이 현실이다.

[표 1]. 여러 가지 축산 제품 생산의 경향 예측, 1993- 2020 (축산 산업)

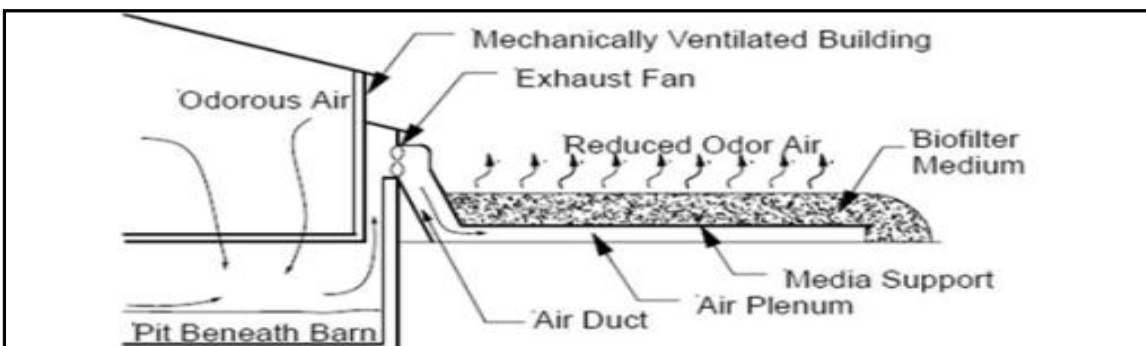
지역/제품 (%)	연간 총 생산 성장 예측		
	1993-2020 (%) (100만 미터톤)	1993	2020
선진국			
쇠고기	0.6	35	38
돼지고기	0.4	37	41
가금육	1.2	27	36
육류	0.7	100	121
우유	0.4	348	371
개도국			
쇠고기	2.6	22	44
돼지고기	2.7	39	81
가금육	3	21	47
육류	2.7	88	183
우유	3.2	164	401

Delgado 등(1999)으로부터 인용.

- 게다가, 축산업이 차지했던 많은 면적이 지금은 비(非)축산 농촌 인구에 의해 점거되고 있다. 이런 경향은 과거에는 없거나 미미했던 악취 문제를 축산 생산자들에게 야기시켰다. 환경적 공기 오염규제가 지역, 국가, 국제적으로 더 심화되는 상황에 비취볼 때 사태가 급박해지는 게 분명하므로 이런 악취 화합물의 문제를 감소시키는 해법이 필요한 시점이다. 악취 화합물 배출량을 줄이기 위한 방법으로 최근에 이슈가 되는 것 중에 하나는 바이오 필터를 사용하는 것이다. 바이오 필터는 새로운 기술이라기보다는 자연적 대기(大氣) 정화공정을 적용하는 것을 말한다. 바이오 필터는 미생물을 이용해서 기체오염원을 이산화탄소, 수증기, 및 유기 생물자원으로 전환시킨다.
- 낮은 농도, 다량의 공기에서 발견되는 악취 성분을 감소시키는 데 효과적이므로 바이오 필터는 축산업 배출량을 감소시키는 데 효과적이다(Nicolai와 Janni, 2000). 바이오 필터는 다공성 고품 배지를 사용해서 미생물을 지원하며, 기류 속 오염원에 접근할 수 있도록 한다. 공기는 바이오 필터 배지를 통과하게 되면서 오염원은 수성(水性) 바이오 필름에 흡수되는데 이를 바탕으로 미생물 환경이 조성된다. 이 바이오 필름은 미생물이 오염원들을 분해하는 장소이다. 배지는 비교적 불활성인 물질로 구성되어 있는데, 이 물질은 큰 표면 흡착 면적과 추가적인 영양소 공급을 가능하게 한다. 배지의 원료는 토탄(土炭), 토양, 퇴비, 나뭇조각, 짚, 등의 혼합물로 구성된다 (Nicolai와 Janni, 2001). 그러므로 본 연구과제의 목표는 한국의 기후 조건에 적합하고 축산업(특히 양돈을

중심으로)으로부터 발생하는 악취 화합물의 효율적 제거 및 저감을 보여주는 바이오 필터 시스템을 축조(築造)하는 것이다.

- 농업에 적용되기 전에 바이오 필터는 먼저 폐수 처리 공장, 화학적 제조 시설, 퇴비화 및 기타 산업적 공기 오염 설비에 이용되었다. 필터는 우선 1960년대 후반 독일의 축산 시설에 적용되어 축산 시설로부터의 악취 배출량을 감소시켰다(Zeisig 및 Munchen, 1987). 1980년대에 바이오 필터는 화란과 스웨덴 축산 시설로부터의 악취를 감소시키는데 사용되었다(Scholtens 등, 1987; Noren, 1985).
- 이런 바이오 필터는 Zeisig 저자의 설계에 기초하고 있었으며 황화수소와 암모니아를 50%나 감소시켰다. 수분 함량이 최적 수준일 경우, 그 감소는 80%까지 증가되었다. Scholtens 등(1987)은 스웨덴의 돼지우리와 송아지 우리에 달린 바이오 필터로부터 약 70%의 암모니아 제거 평균 필터 효율이 있었음을 보고하였다. Scholtens과 Demmers(1991)는 바이오 필터가 축산 빌딩으로부터의 배출 공기 처리에 효과가 있었음에도 불구하고 그것이 유럽의 집약적 축산에서는 거의 쓰이지 않았다고 보고하였다. 그 이유는 1) 다량의 공기 처리를 위한 건축비와 운영비 2) 바이오 필터 물질에 흡수된 질소 제거를 위해 필요한 유출 수분 처리 비용 및 3) 일상적인 성능 변화 때문이었다.
- 북미주 축산 시설에 대한 바이오 필터 조사는 1990년대 중반에 시작되었다. Nicolai와 Janni(1997)는 돼지 임신 축사에서 나오는 구덩이 가스 처리의 타당성에 대해 조사하였다. Young 등(1997)은 3개의 바이오 필터 시제품을 가지고 돼지 악취 화합물을 조사하였으며 악취 화합물의 농도, 자극 농도 및 불쾌감이 각각 61%, 58% 및 84%임을 발견하였다. 비육 돈사로부터 나오는 구덩이 가스를 처리한 2개의 바이오 필터로부터 악취 화합물이 78-80% 감소되었음을 측정하였다(Hartung, 1997). 암모니아 감소는 주로 기류 및 수분 함량에 의해 영향을 받았다.
- 바이오 필터는 형식 (개방 또는 폐쇄) 및 흐름 방향(상향 흐름, 하향 흐름, 또는 수평적 흐름)에 따라 분류된다. Devanny 등(1999)은 개방 및 폐쇄형 바이오 필터 간의 차이에 대해 논의하였다. 폐쇄형 시스템(그림 10)은 바이오 필터의 출구 및 입구 가스 흐름을 모두 통제하지만 개방 시스템(그림 9)은 처리된 가스를 바이오 필터로부터 직접 대기로 방출한다.

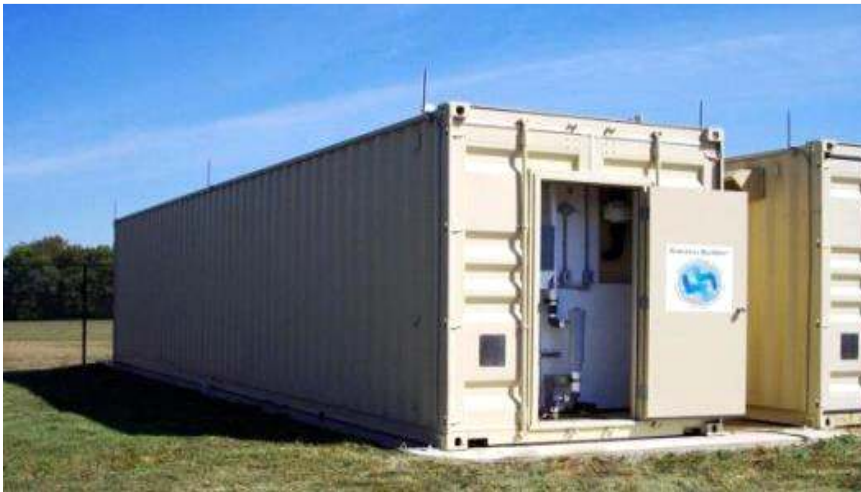


[그림 37] 전형적인 개방형 바이오 필터 시스템 (Nicolai 등, 2006)

- 산업적 적용방식에 따르면, 바이오 필터를 깊은 배지 층이 있는 폐쇄된 그릇 속에다

놓아서 공간을 절약할 수도 있을 것이다. 이런 시스템은 수분 적용 시스템에 따라 상향 흐름이 될 수도 있고 하향 흐름이 될 수도 있을 것이다.

- 동물 농장에서는 개방형 바이오 필터가 보다 더 흔히 사용된다. 그것은 폐쇄형 시스템보다 값이 싸며 비교적 얇은 층의 배지가 있어서 공기 취급 기에 닿는 배압을 감소시키며 옥외에 설치되며 대기에 노출된 표면적이 대개 무척 크기 때문이다. 표면적 및 공간 가용성에 따라, 수평적 배지 받침대 (상향 또는 하향 흐름) 및 수직 배지 받침대(수평적 흐름)가 사용된다(Lefers 및 Nicolai, 2005).
- 축산 생산에서 가장 흔하게 사용되는 것은 상향흐름 개방형 바이오 필터인데 그것이 일반적으로 더 경제적이기 때문이다. 대부분의 축산 빌딩 환기팬들은 지상 근처에서 배기(排氣)하며 따라서 공기 도관 배출 비용이 감소되며 바이오 필터 배지로 들어가는 공기는 그 정도 높이어야 한다. 배지를 수직이 아니라 수평으로 펼쳐놓으면 건축비도 절약된다. 배지를 수평으로 펼쳐놓는 방식은 생산 시설 근처에 가용 지표 공간이 있느냐에 따라 선택적으로 결정하면 된다. 이 경우에는 수직 배지 받침대(수평적 흐름)를 선택하면 좋을 것이다. 바이오 필터를 대기를 향해 개방시켜 놓을 경우, 생산자는 압력 저하를 감소시켜서 팬 전력비용을 줄일 수가 있다.



[그림 38]. 폐쇄 유형의 바이오 필터 시스템 (판권: Waterloo 바이오 필터 시스템 회사, Rockwood, 온타리오)

- 바이오 필터 내에서 악취 화합물을 분해하는 실제적인 일을 하는 것(즉 산화 잠재력)은 미생물이므로, 이런 미생물의 변형과 상호작용에 대해 이해하는 것은 중요하다. 미생물의 생태계에 대한 우리의 지식은 단편적이며 어설픈다(Devinny, 1999). 바이오 필터는 스스로 접종될 수가 있는데, 활성화된 슬러지나 퇴비로 인해 접종이 되거나 세균 종에 의해 유도될 수가 있을 것이다. 농업에 사용되는 대부분의 바이오 필터는 퇴비를 미생물의 출처로 사용한다. Ding 등(2000)은 미생물 생태학 및 바이오 필터 성능에 대해 연구했다. 그들의 연구에 의하면, 새로운 오염원 가스가 이미 작동하고 있는 바이오 필터 속으로 유입된다 해도 이미 처리되는 중에 있는 오염원 가스에 대한 바이오 필터의 제거 효율에 악영향을 미치지 않는 것이다.
- 또한 그 연구는 미생물 군집 변화가 주입 가스 변화와 더불어 발생했음을 보여주었다.

따라서 그 연구는 미생물 군집이 주입 가스 변화에 반응하면서도 그 가스 처리에는 영향을 미치지 않을 수 있음을 보여주었다. Sakano와 Kerkhof(1998)는 암모니아만 처리하기 위해 사용된 바이오 필터의 미생물 군집 구조 변화에 대해 연구했다. 그들은 유기영양 미생물 집단의 전반적인 다양성이 실험 말미에서 감소했음을 발견했다. 유기영양 집단의 군집 구조도 세분화된 집단 사이에서 변했다. 이 실험도 바이오 필터 내 미생물 군집들이 주입 가스의 변화(또는 부족)에게 적응할 수 있음을 보여주었다. Joshi 등(2000)은 실험실 용 바이오 필터의 기체 암모니아 제거에 대해 연구했다.

- Pillai 등(1996)이 얻은 것과 유사한 결과에 도달하였지만, 그들은 슬러지 적용 지점에서 공기 시료에 비교적 많은 수의 유기영양 세균이 들어 있다고 보고하였다. 미생물 군집들이 주입 가스 농도 변화에 반응하여 얼마나 신속히 변화하는지를 측정하기 위한 연구가 필요하다. 하지만, 이런 연구가 바이오 필터 설계에 극적으로 영향을 미치지 않을 것이다. 악취 화합물을 효과적으로 제거하는 데 필요한 수의 미생물을 배양하기에 충분할 만큼의 배지가 EBCT에 의해 확보되어 있기 때문이다(Devinny 등, 1999). 바이오 필터로부터 최대 악취 화합물 감소를 성취하기 위해서는, 필터를 통과하는 공기가 필터 배지와 일정한 시간 동안 접촉하여야만 한다.
- 이 시간을 체류 시간 또는 빈 받침대 접촉 시간(EBCT)이라고 한다. 이 시간은 빈 받침대 필터 체적을 공기 흐름 속도로 나누면 얻어진다(Devinny 등, 1999). 정확한 체류 시간은 효율적인 바이오 필터의 설계를 알기 위한 중요한 변수이다. Zeisig와 Munchen(1987) 돼지에 대해서는 5초 만에 그리고 닭에 대해서는 3초 만에 충분한 악취 감소가 있음을 발견하였다. Pearson(1990)은 20초 동안에 돼지와 가금육 작업장에서 바이오 필터 사용에 대한 비용을 추정하였다.
- Nicolai와 Janni(1998)도 보육 돈사와 관련해서 4초간의 체류 시간과 8초간의 체류 시간 사이에 통계적 차이가 있는지를 연구하였는데, 4초면 충분하다는 결론을 내렸다. 추가적인 연구에서 Nicolai와 Janni(1999)는 젓소나 돼지에 대해 6초 이상의 체류 시간 동안 악취 화합물 감소에 상당한 증가가 없었음을 파악하였다. 하지만, 악취 화합물 감소는 4초미만의 체류 시간 동안에 최적 이하였다. 젓소 및 돼지 시설의 바이오 필터에 대해 권고된 설계 체류 시간은 5초였는데 이 시간 동안에 충분한 악취 화합물 및 황화수소 감소가 이뤄졌다(Nicolai 등, 2004).
- 돈사악취제거의 일반적 접근으로 악취제거효율이 높은 물리적/화학적 방법이 있지만수리유지비가 많이 든다는 단점이 존재한다. 바이오필터의 초기시설비, 설치비, 운영비 등은 종류에 따라 다르게 책정될 수 있는데 예를 들면 다음과 같다.
 - ☞ 초기시설비: 팬, 미디어, 환기구, 합판 등의 재료비로 구성
 - ☞ 설치비: 인건비, 장비대여비(일반적으로 건물에 환기목적으로 사용되는 수직형 바이오필터시설 가격은 32만원~42만원/CMM 에 해당하며 수직형 바이오필터는 수평형 바이오필터보다 약 1.5배 적은 비용을 차지)
 - ☞ 바이오필터의 연간 수리유리비: 1만원~2.2만원/CMM; 전력비, 미디어 교체비용 포함(2~3년 주기로 교체, 돼지 사육두수, 사료급여방법, 분뇨관리에 따라 교체시기

상이함)

- 바이오 필터들(헤더, 헤더와 코코넛 섬유의 혼합물, 헤더와 섬유질 토탄의 혼합물, 콩 짚, 코코넛 섬유, 아마인 짚, 및 선별된 나뭇조각)을 위한 여러 유형의 충전(充填) 배지에 대한 연구에서, Phillips 등(1995)은 75mm 이상 크기의 나뭇조각들이 가장 이상적이라고 결론 내렸는데 이는 그것들이 가장 낮은 압력 저하 중 하나였으며 가장 압축성이 적었기 때문이었다. Nicolai과 Janni(1997)은 그들이 사용한 퇴비/강낭콩 짚 혼합물이 6개월 간 침전시킨 후에 47 pa의 최대 압력 저하를 보였다고 보고하였다.
- 나뭇조각과 퇴비의 다양한 혼합물에 대한 2001년 연구에서 Nicolai와 Janni는 압력 저하가 혼합물 중 증가된 퇴비의 퍼센트에 따라 증가되었다는 것을 발견하였다. Nicolai와 Janni(2001)가 행한 추가적인 연구는 압력 저하는 바이오 필터 배지 내의 빈 공간 퍼센트와 연관되며 바이오 필터 내에서의 기류/표면 면적과 연관된다는 것을 보여주었다.
- 무게 기준으로 20 내지 30% 퇴비와 70 내지 80% 나뭇조각의 혼합물이 농업 용 바이오 필터를 위한 최적으로 권고되었다(Schmidt 등, 2004). 이런 연구의 결과는 바이오 필터의 크기를 제시해 주며, 예상되는 압력 저하에 대해 적절한 성능 특성이 있는 팬의 선택에 대해 안내한다. Nicolai와 Janni(2002)는 배지 진공 비율, 기류, 및 압력 저하 사이의 관계를 보여주는 그래프를 개발하였다.
- 바이오 필터 배지 깊이도 압력 저하에 영향을 미칠 것이다. 배지 깊이가 작다면 결과적으로 압력 저하가 감소될 것인데 압력 저하는 배지 깊이와 직접 상관관계가 있다(Sadaka 등, 2002). 배지 깊이는 악취 화합물 감소 효율에도 영향을 미친다. 바이오 필터 체류 시간에 대한 Nicolai와 Janni의 연구(1999)는, 0.15 m 이하로 감소된 배지 깊이는 악취 화합물과 수소가 65% 이하로 감소되는 것을 보여주었다. 결과적으로, 그들은 퇴비/나뭇조각 배지 바이오 필터의 최소 깊이를 0.15 m와 0.3 m 사이로 권고하였으며 이상적인 최소 깊이 추정치를 0.25 m로 권장하였다.
- 토탄 바이오 필터 배지 속 미생물 군집의 공간적 구조에 대한 연구의 결과는, 방향족 화합물의 주입 농도의 75%는 깊이 0.3 내지 1 m 사이에서 분해되었음을 보여주었다(Khammar 등, 2005). 농업용 바이오 필터 설계에 대해서는, 배지 깊이가 0.25m 내지 0.45m 사이에 머물러야 큰 압력 저하, 압축, 과도한 건조 및 공기 경로 창출의 가능성이 감소된다고 보았다(Schmidt 등, 2004).
- 바이오 필터 내의 미생물은 살아있는 존재이며, 따라서 일정한 온도에 처해야 생명을 유지할 수 있다. 악취 화합물 분해에 가장 효과적인 미생물은 중온성 미생물이며 최적 적용 온도는 30 내지 40도C이다(Janni 및 Nicolai, 2000). 캐나다 알베르타의 대기 조건에 노출된 농업적 바이오 필터에 대한 연구에서, 처리 온도의 차이는 악취 화합물 제거에 영향을 미치지 않은 듯하다는 것이 드러났다(Clark 등, 2004). 처리 온도 범위는 일반적으로 15 내지 30도C 사이였는데 바이오 필터는 절연되어 있어서 겨울 동안에도 열 손실이 없었기 때문이다. 하지만, 실험 데이터에 의하면 적용 온도가 더 높을수록 미생물 집단의 주거 및 효과적인 바이오 여과의 시발(始發)을 촉진되었음이 드러났다.
- 캐나다 모니토바에서 실시된 연구에 따르면, 개방형 바이오 필터는 주변 온도가 0도

이하인 동안에도 악취를 처리했다고 평가되었다(Mann 등, 2002.). 이 연구에서는, 주변 온도가 -20도C 이하였을 때, 바이오 필터 받침대 온도는 절연 또는 열 보충이 없이도 16도C 정도에 머물렀음이 드러났다. 열은 돈사에서 나오는 따뜻한 배출 공기에 의해 제공되었으며 가장 추운 겨울날에도 미생물 생존이 가능할 만큼 적절했다.

- 겨울 동안에도 바이오 필터 효과가 감소되지 않는 듯하였다. 거름 저장고나 가열되지 않은 빌딩에 달린 바이오 필터는 겨울에 열 것이며 그리하여 바이오 필터의 효과가 일시적으로 감소될 것이다(Schmidt 등, 2004). 하지만, 봄이 되면 바이오 필터가 다시 녹을 것이므로, 미생물은 다시 활성화되고 제거 효율은 복구될 것이다.
- 배출 공기 속 악취 화합물을 처리하는 바이오 필터 내의 동일한 미생물도 그것들이 활성화되면 바이오 필터 배지를 분해시킬 것이다(Wani 등, 1998). 이 때문에, 바이오 필터는 시간이 흐르면 안정적이 되고 조밀하게 되어, 성분 교체(交替) 표면이 감소되고 흐름에 대한 저항력이 증가된다. 광화(鑛化) 작용으로 인해 배지 속 미생물이 성장하고 화학적으로 축적되면, 시간이 흐름에 따라 건조 배지가 증가할 수도 있을 것이다(Sun 등, 2000).
- 결국, 바이오 필터는 노화 효과로 인해 크게 고통을 당하게 되고 배지는 교체를 해야만 하게 될 것이다. 배지 수명을 측정하기 위해 축산 빌딩으로부터 나오는 공기를 처리하는 퇴비/나뭇조각 바이오 필터에 대해 시도된 장기간에 걸친 연구가 마무리된 적인 없지만, 3년이나 10년 이상 동안 큰 압력 저하를 초래하지 않으면서도 대부분의 바이오 필터 배지들은 여전히 효과적일 것이라고 추정된다(Schmidt 등, 2004).
- 대부분의 농업용 바이오 필터는 수직 기류 바이오 필터인데, 이것은 큰 발판을 필요로 할 수도 있다. 설치하기는 데 공간적 제한이 있기 때문에, 수직 흐름 (수평적 받침대라고도 함) 바이오 필터는 농업에는 적절한 형태가 아닐 수도 있다. 수직 흐름 바이오 필터에 대한 대안은 수평적 기류 (수직 받침대) 바이오 필터를 사용하는 것이다. 이 필터의 발판은 더 작는데 이는 받침대가 수평이 아니라 수직으로 놓이기 때문이다(Garlinski 및 Mann, 2003).
- 수평적 방향의 기류에 대한 저항은 수직 방향의 그것에 비하여 대략 0.65 배로 나타났다(Sadaka 등, 2002). 이것은 수직 받침대 바이오 필터에 비해 압력 저하가 낮은 것을 의미하는데, 따라서 에너지 소비가 더 적을 수 있을 것이다. 하지만, 수직 받침대 바이오 필터와 관련된 불리한 점은 시간이 지날수록 퇴비가 고착되고 굳어져서 압력 저하가 커진다는 점이다(Devinny 등, 1999). ‘농업용 공기 품질 배지에 대한 956 작업실’을 통한 보다 더 큰 압력 저하는 필터 받침대의 자연적 고착화 때문이다(Zeisig 및 Munchen, 1987).
- 바이오 필터의 압축은 심각한 문제를 발생시킬 수 있는데 왜냐하면 악취 가스들이 압축에 의해 생겨난 공간을 통해 흐르기 때문이다(Choi 등, 2003). 이런 경로가 생기게 되면 국지적 건조가 증가될 수 있으며, 이로 인해서 처리되지 않은 공기가 바이오 필터로부터 빠져나가서 전반적인 효율을 떨어뜨린다. 나뭇조각 기반 배지가 사용되었을 때 수평적 기류 바이오 필터에서는 심각한 배지 고착(固着)현상이 발생했다(Garlinski 및

Mann, 2004). 그런 고착으로 인해 결과적으로 더 많은 공기가 낮은 압력 저하 면적을 통해 필터의 꼭대기에서 빠져나가게 된다. 바이오 필터 배지를 통해 빠져나가는 일정하지 않은 기류는 체류 시간에 영향을 미치게 되어, 수직 받침대 바이오 필터의 악취 화합물 제거 효율을 떨어뜨리게 될 것이다.

- 수직 받침대 바이오 필터에서 발생하는 고착현상에 대한 하나의 해법은 바이오 필터의 배지 받침대를 점차 가늘게 만들어, 배지 벽이 바닥보다 꼭대기에서 더 두껍게 되도록 하는 것이다. 이렇게 하면 기류 경로가 감소하게 되고 보다 더 일정한 기류가 상당한 기간 동안 바이오 필터를 통해 흐르게 되는데, 이는 결과적으로 효율을 향상시킨다. Lefers(2006)는 끝이 가늘어지는 각도가 9.6도일 경우에 배지 고착화 이후 가장 일정한 기류가 바이오 필터 받침대를 통과하게 된다는 것을 보여주었다.
- Biofilters는 일반적으로 volatile organic compounds (VOC's)를 포함한 악취화합물의 악취농도를 상당한 수준으로 저감시키는 것으로 보고되어 있다. BF는 상대적으로 소요에너지가 낮으며 소요 부품이 최소화된 단순기술이나, 최적효율을 유지하기 위해서는 함수율, 영양농도, pH, 상대습도, 온도 등의 변수를 정밀제어하여야 하는 문제가 있다. Webster, Devinny et al. (1996)등은 특정 VOC (ppb 수준) 농도를 저감시키기 위하여 입자상 황성탄과 야드(yard)퇴비를 혼합하여 이를 pad 여재로 사용한 한 pilot biofilter의 악취저감 효율을 검증하였다. 황화수소 (H₂S)는 약 98%, hydrocarbon은 53~98%, aldehyde and ketones은 37~95%, chlorinated 화합물은 0~85%의 감소를 보인다고 보고하였다.
- Wani, Branion et al. (1998) 및 Aand Wani, Lau et al. (1999) 등은 perlite=4:1, hog-fuel (an unprocessed mix of coarse chips of bark and wood fiber): perlite = 4:1, 그리고 compost:hog-fuel:perlite=2:2:1 여재조합을 대상으로 biofilters 효율을 분석한 결과, compost:hog-fuel=4:1 여재가 H₂S 제거효율이 99% 이상으로 가장 높게 나타났다. 또한 이 여재의 경우지속적으로 영양원을 공급하지 않더라도 크게 문제되지 않았다. 왜냐하면 폐수 내에 함유된 organo-metallic 화합물이 지속적으로 미생물의 영양원 공급원의 역할을 하기 때문에 악취저감 성적은 저하되지 않았다고 보고하였다.
- Pagella and De Faveri (2000)는 흡착제로서 제2철 용액을 사용한 두 단계 biofilter의 효과를 검증하였다. 1단계에서는 H₂S는 제2철(Fe³⁺) 용액에 흡수되며, 2단계에서는 생물학적 거동에 의해 제1철(Fe²⁺) 용액에 산화된다.
- Morales, Hernández et al. (2003) 등은 biofilter의 건조상태가 성적에 미치는 영향을 연구한 결과 과도한 수분은 biofilter의 다공성을 감소시켜 혐기층을 형성하고, 압력차를 증가시키며, 바이오매스 및 영양원을 침출시킨다고 보고하였다. 또한 그들은 물리적 특성, 즉, 함수율, 압력차, SO₄²⁻ 집적 등이 biofilter의 성적에 미치는 영향을 조사한 결과, 퇴비와 톱혼합물의 정기적 세척으로 SO₄²⁻ 집적을 감소시키고 퇴비여재의 적정 함수율 약 50%를 유지하였다고 보고하였다.
- San, Ho, Chung et al. (2008) 등은 BF에서 영양원이 Methyl Isoamyl Ketone (MIAK) 제거효율에 미치는 영향을 분석한 결과, 오염된 공기중 MIAK를 제거하는 데

적정 영양원 비율 COD:N:P = 200:4:1 보고하였다.

- Morgan et al. (2005)은 퇴비 BF의 필터 여재의 혼합도가 H₂S 제거효율에 미치는 영향을 연구한 결과 경시적(經時的)으로 H₂S 제거효율은 100%에서 90%로 감소함을 관찰하였다. bed mixing (외부로 pack 여재를 제거하여 완전 혼합시킨 후 그 여재를 다시 사용하는 경우)을 시행될 때는, 제거효율은 거의 100%에 이르렀다. H₂S 제거효율은 함수율은 약 50%에서, SO₄ 약 12 mgS-SO₄/g-퇴비여재에서 가장 잘 제어되었다고 보고하였다.
- Chung, Huang et al. (2001) 등은 공동고정셀을 부착한 biofilters나 packed column의 H₂S와 NH₃ 혼합가스비 (Arthrobacter oxydans CH8 for NH₃ and Pseudomonas putida CH11 for H₂S)의 생물학적 처리에 관한 실험을 수행하였다. 실험결과 BF의 H₂S 제거효율은 H₂S와 NH₃의 입기농도에 크게 좌우됨을 확인하였다. H₂S농도 높으면 억제기질로서 작용하여 종속영양 황산화균 (heterotrophic sulfur-oxidizing bacteria)생장을 억제한다, H₂S 산화 활성은 억제된다. NH₃ 농도가 높을수록, H₂S 제거효율이 낮아진다, 이는 biofilter의 산화에 기인한다.
- Shojaosadati and Elyasi (1999) pilot규모 퇴비-biofilter의 오염공기 중 H₂S 제거에 대한 성공적인 연구를 수행하였다. 피혁산업슬러지에 기사용한 버섯퇴비와 뽕은 달팽이껍질과 혼합물에 접종시킨 결과, H₂S는 99% 이상 제거되었으며, 이 공정의 적정 pH 6~7 정도로 알려져 있다.
- Ho, Chung et al. (2008)는 conducted experiments 양돈폐수의 고액분리과정중 발생하는 volatile-sulfur compounds (VSC)을 제거하기 위한 biofilter 입자상 활성탄 (GAC)을 충전한 BF을 이용한 실험결과, Hydrogen sulfide (H₂S), methanethiol (Methyl Merchaptan), dimethyl disulfide (DMDS), dimethyl sulfide (DMS) 96~100% 제거되는 것으로 분석되었다.
- Kim, Rene et al. (2008)등은 알긴산 나트륨(sodium alginate)과 polyvinyl alcohol (PVA) 피포(被包)한 생물여재로 충전한 실험실규모 biofilter에 대한 hydrogen sulphide 제거효율을 분석하였다. 분리 순응기간이 필요없는 고정셀biofilter는 실험 초기 몇 일간 제거효율이 99%에 이를 정도로 높게 나타났다.
- 실제 생물의 면역체계(immune system)는 환경변화에 스스로를 방어하기 위한 기전 중 하나이다. 스트레스를 받는 동물들은 면역시스템이 저하되어 질병에 매우 취약하다 (Salak-Johnson and McGlone, 2007). ACTH의 주된 기능은 steroid hormone cortisol을 조절하는 역할을 한다. Cortisol은 adrenal gland (부신: 아드레날린과 다른 호르몬들을 분비함)에 의해서 분비되며, 혈압과 혈당을 조절한다. 이 분석은 홀문문제의 원인을 찾는 데 도움이 될 수 있다. 몇몇 연구자들은 hypovolemia (저혈량증_低血量症)와 neuroendocrine (신경 내분비_神經內分泌) 변화와의 상관성을 찾는 연구를 하였으며 arterial hemorrhage (동맥출혈) 모사모델을 연구하였다.
- 본 연구에서는 돼지의 Adrenocorticotropin hormone (ACTH)과 cortisol 수준은 돼지비장절제 전(前), 중(中), 후(後)에 채혈(採血)하여 radioimmunoassay (방사성 동위원소에 의한 표지(標識) 면역 검정법)에 의하여 분석하였다. 모든 동물들은 출혈 중에 세

가지 신경내분비물 (neuroendocrine substances)이 유의(有意)하게($p < 0.05$) 증가한다. ACTH는 전, 중, 후 채혈결과 49 ± 10 pg/ml에서 정점 518 ± 56 pg/ml으로 증가하는 경향을 보인다. Cortisol은 회복단계에서 정점 18.2 ± 2.5 mg% 나타냈다. 혈장(Plasma) ACTH 수준은 출혈 중에 매우 서서히 증가하였다. 그러므로 돼지의 경우, 동맥출혈은 ACTH 집적을 지연시키며, 회복단계에서 정점 cortisol이 이후에 나타난다. 이런 측면에서 이들ホルモン은 동물이 건강한지 아닌지를 판단하는 지표가 된다. (Beta-endorphin, ACTH, and cortisol response to hemorrhage in conscious pigs. 1987. J. D. O'Benar, J. P. Hannon, J. L. Peterson, C. A. Bossone. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, Vol. 252 (5): R953-R958)

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 재료 및 방법

1. 제 1 세부 : 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발

가. 시험 1. 솔더 사양시스템을 이용한 군사사육이 모돈 번식성적에 미치는 영향

(1) 시험동물 및 시험설계

- 모돈 (Landrace x Yorkshire)은 1산차 90두를 공시하였으며, 임신진단 (3주) 이후부터 분만틀 입식전 (분만 1주전)까지 스톨, 군사, 솔더 사양시스템에서 사양시험을 실시하였다. 시험설계는 1) CON (Stall management system), 2) GM (Group management system) 및 3) SM (Shoulder management system)로 3처리구 처리당 30두로 임의 배치하여 시험을 실시하였다. 연산성을 알아보기 위하여 다음 산차까지 (6산차) 계속적으로 사양시험을 진행하였다.



그림 1. 사육형태별 모돈 사육사진 (좌측부터 스톨, RFID, Shoulder 사양시스템)

(2) 시험사료와 사양관리

- 시험사료는 NRC (2012) 요구량에 따라 배합한 옥수수-대두박 위주의 사료로서 아침과 저녁 두 번으로 나누어 포유모돈 사료급여 프로그램에 따라 제한급여를 실시하였으며, 물은 자유로이 섭취할 수 있도록 하였다.

(3) 조사항목 및 방법

(가) 모돈의 번식생산성

- 모돈의 체중은 분만 전, 분만 후 및 이유시에 측정하였고, 사료섭취량은 시험기간 동안의 섭취량에서 잔량을 감하여 계산하였다. 포유모돈의 등지방 두께는 분만 전, 분만 후 및 이유시에 측정하였고 등지방은 Piglog 105 (Carometec food technology, Denmark)를 이용하여 P2 지점 (마지막 늑골에서



좌우 6.5 cm 부위)의 등지방을 측정하였다. 모든의 복당 산자수는 생시 산자수에서 이유시 산자수를 감하여 계산하였으며, 재귀발정일은 이유시부터 종부시까지의 일수를 계산하였다.

(나) 포유자돈의 생산성

- 포유자돈의 증체량은 분만시, 1주, 2주, 3주 및 이유시에 각각 체중을 측정하여 계산하였다. 자돈 사산율은 총 산자수에서 생시산자수를 백분율로 계산하였고, 자돈 폐사율은 생시 산자수에서 이유시 산자수를 백분율로 계산하였다.

(다) 포유모돈 및 포유자돈의 혈중 스트레스관련 물질 농도

- 모돈은 임신 50일령, 분만틀 입식전 (임신 108일령), 이유시에 모든 돈군에서, 포유자돈은 이유시 처리당 15두를 임의 선발하여 혈액을 채취하였다. 혈액 채취방법은 경정맥 (Jugular vein)에서 Vacuum tube (Becton Dickinson Vacutainer Systems, Franklin Lakes, NJ, USA)를 이용하여 혈액을 10 mL 채취하여 4°C에서 3,000 rpm으로 15분간 원심분리한 혈청을 이용하여 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine을 조사하였다.



(라) 모돈의 직장온도 변화

- 모돈이 직장온도 임신 50일령, 분만틀 입식전 (임신 108일령), 이유시에 모든 돈군에서 직장온도계 (TES 1311, E&E Process Instrument, Taiwan)를 이용하여 측정하였다.



(마) 포유자돈의 설사지수

- 포유자돈의 설사 지수는 생후 1주, 2주, 3주 및 이유시에 측정하였으며, 다음의 score로 수치화하였다. (Score = 1 = hard, dry pellets in a small, hard mass; 2 = hard, formed stool that remains firm and soft; 3 = soft, formed, and moist stool that retains its shape; 4 = soft, unformed stool that assumes the shape of the container; 5 = watery, liquid stool that can be poured.)

(바) 포유자돈의 분내 미생물 균총

- 포유자돈의 분내 미생물 균총은 이유시에 처리당 15두를 임의 선발하여 분을 채취한 뒤, 실험시까지 -20°C에서 냉동보관 하였으며, 이후 멸균된 생리식염수에 현탁하여 균질화 시킨 다음 103에서 107까지 단계 희석하여 생균 수 측정용 시료로 사용하였다. 실험처리에 의한 돈분 내의 Lactobacillus와 E. coli의 균수를 측정하기 위해 Lactobacillus에는 MRS agar, E. coli에는 MacConkey agar (Difco, USA)를 사용하였고, 37°C에서 38시간 배양 후 균수를 측정하였다.

(4) 통계처리

- 모든 자료는 SAS (2001)의 General Linear Model procedure를 이용하여 Duncan's multiple

range test (Duncan, 1955)로 처리하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

나. 시험2. 임신중 섬유소의 추가 급여가 모돈 번식성적에 미치는 영향

(1) 시험동물 및 시험설계

- 모돈 (Landrace x Yorkshire)은 1산차 80두를 공시하였으며, 임신진단(3주) 이후부터 분만틀 입식전(분만 1주전)까지 사양시험을 실시하였다. 시험설계는 1) CON (일반사료급여프로그램) 및 2) F (일반사료급여프로그램 + 섬유소 추가 급여)로 2처리구 처리당 40두로 임의 배치하여 시험을 실시하였다. 연산성을 알아보기 위하여 다음 산차(6산차)까지 계속적으로 사양시험을 진행하였다.

(2) 시험사료와 사양관리

- 시험사료는 NRC (2012) 요구량에 따라 배합한 옥수수-대두박 위주의 사료로서 아침과 저녁 두 번으로 나누어 포유모돈 사료급여 프로그램에 따라 제한급여를 실시하였으며, 물은 자유로이 섭취할 수 있도록 하였다.

(3) 조사항목 및 방법

(가) 모돈의 생산성

- 모돈의 체중은 분만 전, 분만 후 및 이유시에 측정하였고, 사료섭취량은 시험기간 동안의 섭취량에서 잔량을 감하여 계산하였다. 포유모돈의 등지방 두께는 분만 전, 분만 후 및 이유시에 측정하였고 등지방은 Piglog 105 (Carometec food technology, Denmark)를 이용하여 P2 지점 (마지막 늑골에서 좌우 6.5 cm 부위)의 등지방을 측정하였다. 모돈의 복당 산자수는 생시 산자수에서 이유시 산자수를 감하여 계산하였으며, 재귀발정일은 이유시부터 종부시까지의 일수를 계산하였다.



(나) 포유자돈의 생산성

- 포유자돈의 증체량은 분만시, 1주, 2주, 3주 및 이유시에 각각 체중을 측정하여 계산하였다. 자돈 사산율은 총 산자수에서 생시산자수를 백분율로 계산하였고, 자돈 폐사율은 생시산자수에서 이유시 산자수를 백분율로 계산하였다.



(3) 포유모돈 및 포유자돈의 혈중 스트레스관련 물질 농도

- 포유모돈은 임신 50일령, 분만틀 입식전 (임신 108일령), 이유시에 모든 돈군에서, 포유자돈은 이유시 처리당 15두를 임의 선발하여 혈액을 채취하였다. 혈액 채취방법은 경정맥 (Jugular vein)에서 Vacuum tube (Becton Dickinson Vacutainer Systems, Franklin Lakes, NJ, USA)를 이용하여 혈액을 10 mL 채취하여 4°C에서 3,000 rpm으로 15분간 원심분리한 혈청을 이용하여 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine을 조사하였다.

(다) 포유모돈의 직장온도 변화

- 포유모돈이 직장온도 임신 50일령, 분만틀 입식전 (임신 108일령), 이유시에 모든 돈군에서 직장온도계(TES 1311, E&E Process Instrument, Taiwan)를 이용하여 측정하였다.



(라) 포유자돈의 설사지수

- 포유자돈의 설사 지수는 생후 1주, 2주, 3주 및 이유시에 측정하였으며, 다음의 score로 수치화하였다. (Score = 1 = hard, dry pellets in a small, hard mass; 2 = hard, formed stool that remains firm and soft; 3 = soft, formed, and moist stool that retains its shape; 4 = soft, unformed stool that assumes the shape of the container; 5 = watery, liquid stool that can be poured.)

(마) 포유자돈의 분내 미생물 균총

- 포유자돈의 분내 미생물 균총은 이유시에 처리당 15두를 임의 선별하여 분을 채취한 뒤, 실험시까지 -20°C 에서 냉동보관하였으며, 이후 멸균된 생리식염수에 현탁하여 균질화 시킨 다음 103에서 107까지 단계 희석하여 생균 수 측정용 시료로 사용하였다. 실험처리에 의한 돈분 내의 *Lactobacillus*와 *E. coli*의 균수를 측정하기 위해 *Lactobacillus*에는 MRS agar, *E. coli*에는 MacConkey agar (Difco, USA)를 사용하였고, 37°C 에서 38시간 배양 후 균수를 측정하였다.



(4) 통계처리

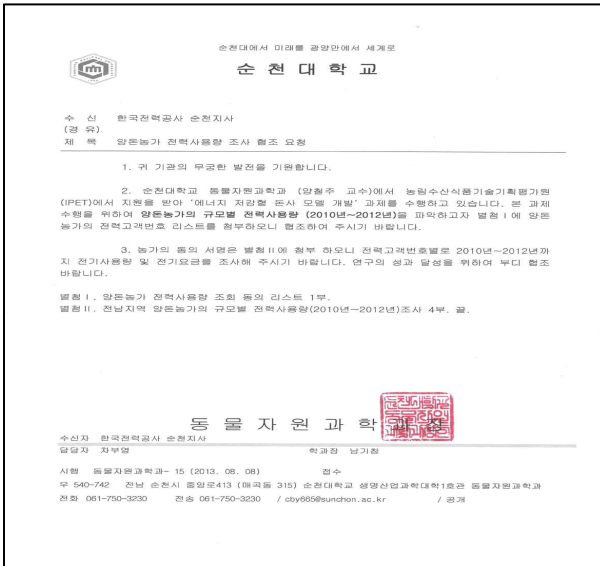
- 모든 자료는 SAS (2001)의 General Linear Model procedure를 이용하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

2. 제 1 협동 : 에너지 저감형 돈사 모델 개발

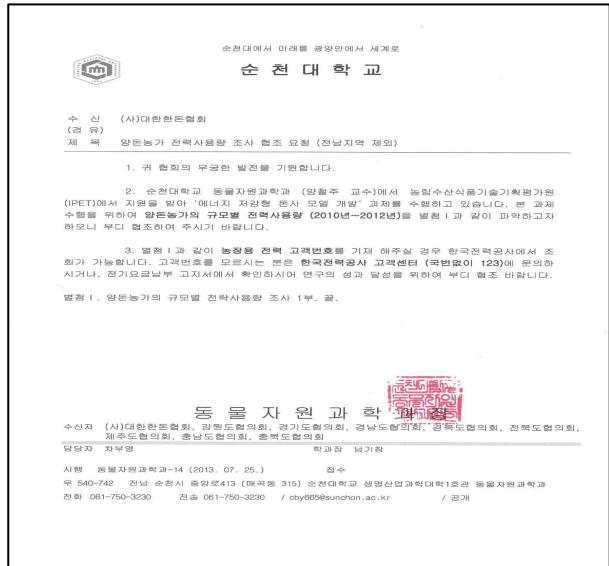
가. 1차년도 : 태양열을 활용한 에너지 저감형 친환경 돈사 모델개발

(1) 기존 양돈장의 전기 사용량 및 이산화탄소 발생량 조사

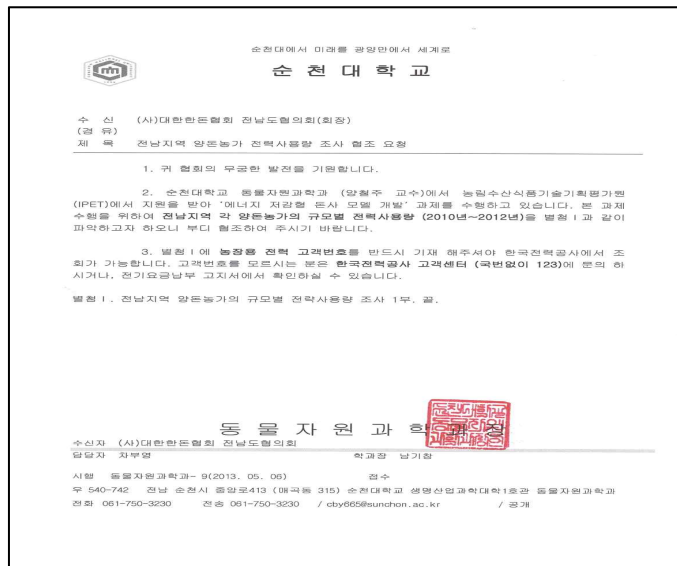
(가) 전기사용량 조사를 위한 (사)대한한돈협회 및 한국전력공사 협조요청 공문



한국전력공사 협조요청 공문



(사)대한한돈협회 협조요청 공문



(사)대한한돈협회 전남도협의회 협조요청 공문

(2) 태양열을 활용한 돈사 모델 구축

(가) 양돈장 규모별 최적 설비 조건 탐색을 위한 태양열 설치업체 선정

업체명	가능여부	소재지	탱크용량	설치가격
누리태양열	가능	경북 경주	300L	470만원
테스터에너지	가능	대전	300L	550만원
강남(주)	가능	전남 순천	500L	700만원
대원쿵스	가능	경기 고양	300L	530만원
에이팩	가능	대전	300L	1,500만원 (주택용)
Jenco	가능	경남 김해	300L	380만원 (진공관 270만원)
대성쎬틱 에너지스	가능	경기 용인	300L	340만원
제인상사	가능	서울 금천	300L	500만원
극동에너지	가능	경북 칠곡	300L	250~300만원
그랜드솔라	가능	전남 순천	420L	200~250만원
썬조이	불가	충북 음성		
위레썬	불가	경기 평택		
강남에너지	불가	충북 충주		

(나) 효과규명을 위한 돈사 모델 구축





(3) 태양열을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구

(가) 태양열 발생 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구

- 태양열 돈사의 열효율을 분석하기 위하여 2동의 돈사를 건축하여 일반 돈사와 태양열 돈사로 구분하여 시험을 수행하였다. 2동의 돈사의 내부 온도는 모두 일정하게 유지하도록 조절하였다. 일반 돈사는 전기 에너지만을 이용하여 돈사 내부의 온도를 조절하였으며, 태양열 돈사는 태양열을 이용하여 내부 난방을 하고 태양열이 부족한 경우 전기 에너지를 이용하였다.
- 태양열 시스템을 분석하기 위하여 2013년 9월 10일~2013년 9월 24일 (2주)까지 일사량, 집열관 입출구 온도, 온수탱크 입출구 온도, 돈사 내부의 위치별 온도 등을 데이터로거 CR10X를 이용하여 연속적으로 측정하였다. 측정은 매 10초 단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록하였다.

나. 2차년도 지열을 활용한 에너지 저감형 친환경 돈사 모델 개발

- 양돈산업에서 화석에너지 사용량 저감을 통한 탄소 배출량 감소를 위해 지열을 활용하여 최적의 사육환경을 구현

(1) 지열을 활용한 돈사 모델 구축

(가) 최적 설비 조건 탐색을 위한 지열설치업체 조사

지열을 활용한 지열돈사 모델 구축을 위하여 지열 설치업체를 조사하였다. 현재 출시되고 있는 지열 히트펌프 용량은 최소 5RT (가정집 약 30평용)가 출시되고 있으며, 설치가격은 2,794~3,075만원으로 조사됨

현재 신재생에너지보급은 주택지원사업을 진행하고 있으며, ‘신에너지 및 재생에너지 개발, 이용, 보급 촉진법 제 27조’ 및 ‘신·재생에너지설비의 지원 등에 관한 규정 제21조 (산업부 고시 제2014-56호)’에 의거하여 가정용은 설치비용의 약 50%를 보조지원해주고 있음

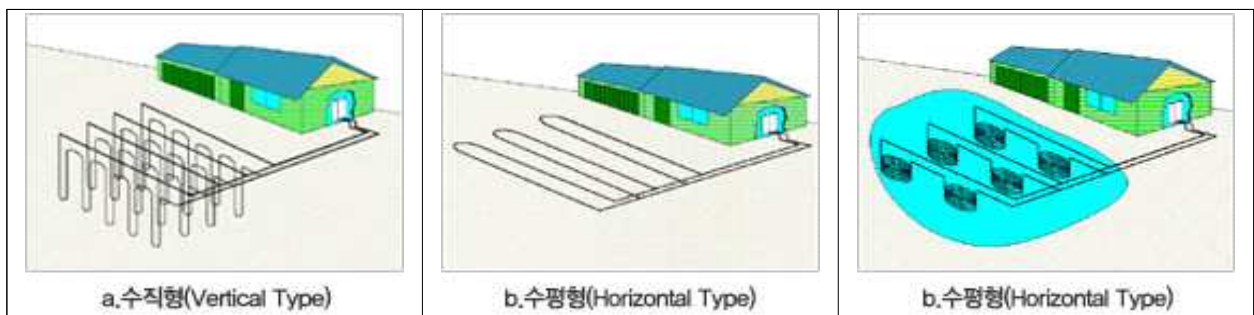
표 1. 양돈장 규모별 최적 설비 조건 탐색을 위한 지열설치업체 가격조사

업체명	공사가능 여부	소재지	지열히트펌프 용량	설치가격
대성에너지스	가능	전남 순천	5RT	약 2,794만원
(주)대청기업	가능	전남 여수	5RT	약 3,075만원
(주)지산에너지텍	가능	전남 장성	5RT	약 2,984만원

(나) 지열돈사 시스템을 위한 열교환장치 선정

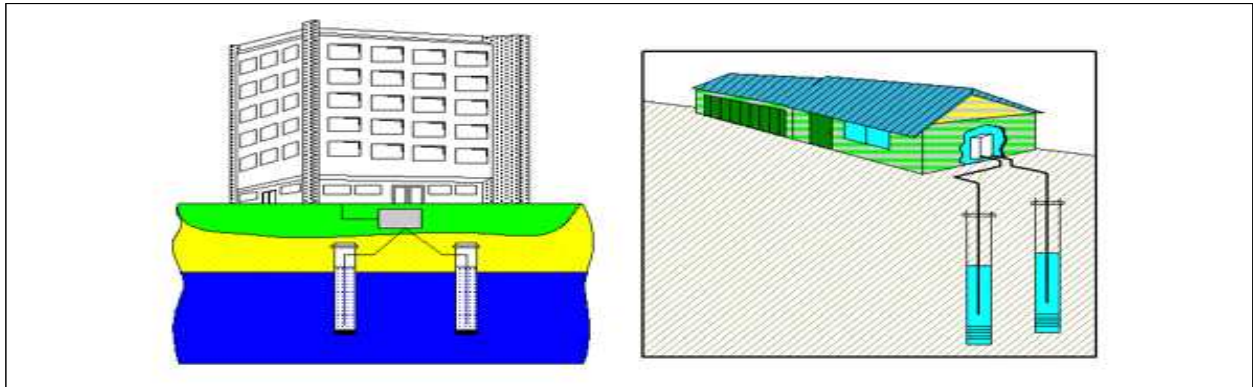
지열시스템 열교환방법은 폐쇄형 지열원 교환방법과 개방형 지열원 열교환 방법이 있다. 일반적으로 폐쇄형 지열원 방법을 많이 사용하고 있으며, 그중에서 효율성이 높고, 공간을 많이 차지하지 않는 수직형 타입이 많이 사용되고 있다.

표 2. 폐쇄형 지열원 열교환장치



※ 자료출처 : 에너지관리공단

표 3. 개방형 지열원 열교환장치



※ 자료출처 : 에너지관리공단

표 4. 폐쇄형 및 개방형 지열원 열교환장치 비교

	폐쇄형 지열원 교환방법		개방형 지열원 열교환장치
	수직형	수평형	
파이프 매설깊이	100~150m	1.2~1.8m	하천이나 호수의 물을 이용
파이프 차지면적	좁음	넓음	
시공비용	고가	저가	저가
효율성	높음	낮음	높음

※ 자료출처 : 에너지관리공단

(다) 효과구명을 위한 지열조사 모델 구축

지열을 활용한 지열조사 모델 구축을 위하여 천공작업 (지하 100~150m까지 파이프 설치 작업)과 지열시스템 설치 작업은 특수장비가 필요한 관계로 지열업체에서 지열시스템을 설치하였다. 지열시스템 공사비용은 약 2,794~3,075만원으로 조사되었다. 순천대학교 연구비 관리지침에 의거하여 2,200만원 이상 공사는 공개입찰대상에 포함되어 국가종합전자조달 나라장터에 공개입찰(공고번호 20140714812-01)하여 공사를 진행함



천공 후 트렌치 배관 작업 전



트렌치 작업 완료 후



기계실 기초작업



설치된 지열히트펌프 (5RT)



지열시스템 기계실 외부



지열시스템 기계실 내부



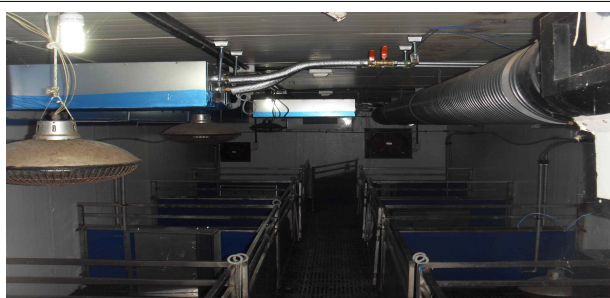
인큐베이터 내부 배관 연결



인큐베이터 내부 배관 연결



인큐베이터 내부 설치 전 모습



인큐베이터 내부 설치 후 모습



인큐베이터 내부온도 계측장비



인큐베이터 전력사용량 계측장비

(2) 지열을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구

지열 인큐베이터 돈사의 열효율을 분석하기 위하여 같은 조건의 2동 돈사를 일반 인큐베이터 돈사와 지열 인큐베이터 돈사로 구분하여 시험을 수행하였다. 2동의 인큐베이터 돈사 내부 환경은 일정하게 유지하도록 조절하였다. 일반 인큐베이터 돈사는 전기에너지만을 이용하여 인큐베이터 돈사내부의 온도를 조절하였으며, 지열 인큐베이터 돈사는 지열을 이용하여 내부 난방을 하며, 전기에너지도 같이 조절되도록 하였다.

(가) 재료 및 방법

① 공시동물

공시동물은 평균체중 7 kg정도로 균일한 3원 교잡종 [(Landrace × yorkshire) × Duroc] 인 거세돈 60두를 공시하여 2014년 9월 5일 ~ 2014년 9월 24일까지 3주간 사양시험을 실시하였다.



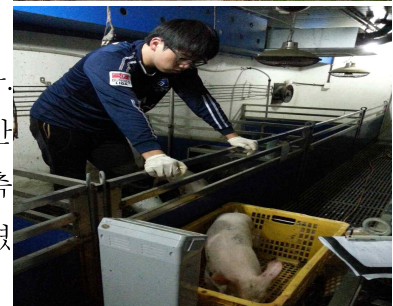
② 시험설계 및 시험사료

실험을 위한 처리구는 일반 인큐베이터 돈사 1동, 지열 인큐베이터 돈사 1동으로 격리하여 진행되었으며, 2처리 10반복 반복당 3두로 배치하였다. 시험사료는 시중에 판매되고 있는 자돈용 사료를 동일하게 급이 하였다.



③ 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육 성적

사육 성적은 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 활용하였다. 체중 측정 및 사료섭취량은 시험 개시 시부터 종료 시까지 1주 간격으로 체중을 측정하였으며, 사료섭취량은 1주 간격으로 체중측정 직전에 반복별로 사료의 잔량을 측정하여 사료섭취량을 구하였다. 사료요구율은 사료섭취량을 증체량으로 나누어서 구하였다.



④ 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 경제성분석

자돈의 경제성 분석은 사료요구율을 비교하여 체중 1 kg 증가에 필요한 사료비를 산정하여 사료비 절감비율을 계산하여 경제성 분석 실시하였다.

⑤ 지열시스템 성능분석

외부 온·습도 변화는 데이터로거 (CR10X)를 이용하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록되도록 하였다.

지열시스템 배관별 입·출구 온도 측정은 지하수 배관 (지하~지열히트펌프), 열교환장치 배

관 (지열히트펌프~물저장탱크), 물저장탱크 배관 (물저장탱크~인큐베이터 내부)의 입·출구 온도는 데이터로거 (CR10X)를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 측정은 매 10초단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록되도록 하였다.

지열시스템 지열히트펌프 난방성능지수 (Coefficient Of Performance, COP) 분석은 다음과 같이 계산하였다.



$$\text{지중 흡수열 (kW)} = \text{유량} \times \text{입·출구 온도차이} \times 4.2 \text{kJ} \div 3600 \text{s}$$

$$\text{COP} = \frac{\text{지중 흡수열 (kW)} + \text{소비 전력 (kW)}}{\text{소비 전력 (kW)}}$$

⑥ 지열 인큐베이터 돈사 내부 온도 측정

지열 인큐베이터 돈사 내부온도는 데이터로거 CR10X를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 측정은 매 10초단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록하였다. 사양시험기간 동안 기록되었으며, 8시를 기점으로 주간과 야간으로 나누었다. 온도측정 위치는 상단부와 하단부로 나누어 측정되었으며, 돈사별로 6곳에서 측정하였다.

⑦ 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 조사

일반 인큐베이터 돈사 및 지열 인큐베이터 돈사에 전기계량기 (LS산전, 3상 4선식)가 부착되어 있으며, 오전 8시와 오후 8시를 기준으로 전기사용량을 기록하여 주간과 야간의 전기사용량을 조사하였다.



⑧ 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량 조사

지열 인큐베이터 돈사의 전력사용량을 가지고 이산화탄소 발생량을 조사하였다. Benjamin K. Sovacool (2008)의 조사 결과를 바탕으로 전기 1 kW당 이산화탄소 발생량을 66 g CO_{2e} 발생으로 계산하여 이산화탄소 발생량을 조사하였다.

다. 3차년도 : 에너지 저감형 돈사 모델의 최적 운영방안에 대한 연구

- 본 연구는 양돈산업에서 화석에너지 사용량 저감을 통한 탄소 배출량 감소를 위해 태양열 및 지열의 최적 활용 방안에 대한 연구

(1) 지열을 활용한 최적 운영방안에 대한 효과 규명

지열 인큐베이터 돈사의 최적 운영방안 분석하기 위하여 같은 조건의 2동 돈사를 일반 인큐베이터 돈사와 지열 인큐베이터 돈사로 구분하여 시험을 수행하였다. 2동의 인큐베이터 돈사

내부 환경은 일정하게 유지하도록 조절하였다. 일반 인큐베이터 돈사는 전열기를 이용하여 인큐베이터 돈사내부의 온도를 조절하였으며, 지열 인큐베이터 돈사는 지열시스템을 이용하여 내부 난방이 조절되도록 하였다.

(가) 재료 및 방법

① 시험설계

실험을 위한 처리구는 일반 인큐베이터 돈사 1동, 지열 인큐베이터 돈사 1동으로 격리하여 진행되었으며, 2015년 12월 2일 ~ 2015년 12월 8일 (1주), 2016년 1월 13일 ~ 2016년 1월 19일 (1주), 2016년 2월 12일 ~ 2016년 2월 18일 (1주)까지 총 3회 측정을 실시 하였다.



② 지열시스템 성능분석

외부 온·습도 변화는 데이터로거 (CR10X)를 이용하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록되도록 하였다.

지열시스템 배관별 입·출구 온도 측정은 지하수 배관 (지하~지열히트펌프), 열교환장치 배관 (지열히트펌프~물저장탱크), 물저장탱크 배관 (물저장탱크~인큐베이터 내부)의 입·출구 온도는 데이터로거 (CR10X)를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 측정은 매 10초단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록되도록 하였다.



지열시스템 지열히트펌프 난방성능지수 (Coefficient Of Performance, COP) 분석은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{지중 흡수열 (kW)} = \text{유량} \times \text{입·출구온도차이} \times 4.2 \text{kJ} \div 3600 \text{s}$$

$$COP = \frac{\text{지중 흡수열 (kW)} + \text{소비전력 (kW)}}{\text{소비전력 (kW)}}$$

③ 지열난방시스템의 온도 측정

지열난방시스템의 온도측정은 데이터로거 CR10X를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 측정은 매 10초단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록하였다. 배관 위치별로 온도를 측정하였다.

④ 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 조사

일반 인큐베이터 돈사 및 지열 인큐베이터 돈사에 전기계량기 (LS산전, 3상 4선식)가 부착되어 있으며, 오전 8시와 오후 8시를 기준으로 전기사용량을 기록하여 주간과 야간의 전기사용량을 조사하였다.



⑤ 지열 인큐베이터 돈사의 악취가스 발생량 조사

지열 인큐베이터 돈사와 대조구 돈사의 일정한 높이 (슬러리로부터 50cm 상단부)에서 측정하였으며, 측정시간은 오후 8시에 가스 포집기 (Gastec GV-100S, Japan)를 사용하여 NH₃, H₂S 및 SO₂의 가스 검지관을 가스포집에 장착하여 악취가스 측정을 실시하였다. 측정시 사용한 검지관은 Gastec Corporation (Japan)사의 검지관을 사용하였으며, NH₃ 검지관은 3La (2.5~200 ppm), H₂S 검지관은 4LK (1~400 ppm), 4LT (0.1~0.4 ppm), 4HM (25~1600 ppm) 및 SO₂ 검지관은 5Lb (0.05~10 ppm)를 사용하여 1분간 악취를 흡입시켜 각각의 수치를 파악하였다.

(2) 태양열과 지열을 활용한 통합에너지 저감형 돈사의 운영효과 규명

태양열과 지열을 활용한 최적 운영방안 분석하기 위하여 같은 조건의 2동 돈사를 일반 인큐베이터 돈사와 태양열+지열 인큐베이터 돈사로 구분하여 시험을 수행하였다. 2동의 인큐베이터 돈사 내부 환경은 일정하게 유지하도록 조절하였다. 일반 인큐베이터 돈사는 전열기를 이용하여 인큐베이터 돈사내부의 온도를 조절하였으며, 태양열+지열 인큐베이터 돈사는 태양열시스템과 지열시스템을 이용하여 내부 난방이 조절되도록 하였다.

(가) 재료 및 방법

① 시험설계 및 시험사료

실험을 위한 처리구는 일반 인큐베이터 돈사 1동, 지열 인큐베이터 돈사 1동으로 격리하여 진행되었으며, 2015년 12월 14일 ~ 2015년 12월 20일 (1주), 2016년 1월 5일 ~ 2016년 1월 11일 (1주), 2016년 3월 14일 ~ 2016년 3월 20일 (1주)까지 총 3회 측정을 실시 하였다.



② 지열시스템 성능분석

외부 온·습도 변화는 데이터로거 (CR10X)를 이용하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록되도록 하였다.

지열시스템 배관별 입·출구 온도 측정은 지하수 배관 (지하~지열히트펌프), 열교환장치 배

관 (지열히트펌프~물저장탱크), 물저장탱크 배관 (물저장탱크~인큐베이터 내부)의 입·출구 온도는 데이터로거 (CR10X)를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 측정은 매 10초단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록되도록 하였다.

지열시스템 지열히트펌프 난방성능지수 (Coefficient Of Performance, COP) 분석은 다음과 같이 계산하였다.



$$\text{지중 흡수열 (kW)} = \text{유량} \times \text{입·출구 온도차이} \times 4.2 \text{kJ} \div 3600 \text{s}$$

$$\text{COP} = \frac{\text{지중 흡수열 (kW)} + \text{소비 전력 (kW)}}{\text{소비 전력 (kW)}}$$

③ 태양열시스템의 온도 측정

태양열시스템의 온도 측정은 데이터로거 CR10X를 이용하여 연속적으로 측정하였으며, 측정은 매 10초단위로 측정하여 1시간 동안의 평균값을 시간대별로 기록하였다. 배관 위치별로 온도를 측정하였다.

④ 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 조사

일반 인큐베이터 돈사 및 지열 인큐베이터 돈사에 전기계량기 (LS산전, 3상 4선식)가 부착되어 있으며, 오전 8시와 오후 8시를 기준으로 전기사용량을 기록하여 주간과 야간의 전기사용량을 조사하였다.



⑤ 지열 인큐베이터 돈사의 악취가스 발생량 조사

지열 인큐베이터 돈사와 대조구 돈사의 일정한 높이 (슬러리로부터 50cm 상단부)에서 측정하였으며, 측정시간은 오후 8시에 가스 포집기 (Gastec GV-100S, Japan)를 사용하여 NH₃, H₂S 및 SO₂의 가스 검지관을 가스포집에 장착하여 악취가스 측정을 실시하였다. 측정시 사용한 검지관은 Gastec Corporation (Japan)사의 검지관을 사용하였으며, NH₃ 검지관은 3La (2.5~200 ppm), H₂S 검지관은 4LK (1~400 ppm), 4LT (0.1~0.4 ppm), 4HM (25~1600 ppm) 및 SO₂ 검지관은 5Lb (0.05~10 ppm)를 사용하여 1분간 악취를 흡입시켜 각각의 수치를 파악하였다.

3. 제 2 협동 : 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발

가. 시계별 GHOG (온실 및 악취가스 : Greenhouse & Odorous Compound Gases) 저감 시스템 효율

(1) 온실가스와 악취원인 화합물 측정 방법

- GASTECH 장비(Pump kit No. 101)를 사용하여 특정 이산화탄소(CO₂), 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S)의 온실가스와 악취 가스 농도가 측정되었다. 몇 가지 문제점이 있었지만, 이용이 간편하고, 일반 축사 작업자도 이 장비를 통해 여러 가지 화합물을 쉽게 인식할 수 있는 장점이 있어서 GASTECH 장비를 사용하였다.(표 2)

[표 2] 현장조사에 사용된 GASTECHs 리스트

화합물	Tube No.	측정범위(ppm)
NH ₃	3M	10-1000
	3La	2.5-200
	3L	0.5-60
H ₂ S	4LL	0.25-120
	4LT	0.1-4
CO ₂	2L	0.13-6
	2LL	300-5000
	2LC	100-4000

- 표 2 에서와 같이, NH₃, H₂S, CO₂ 에 선정된 농도범위는 각각0.5~1000 ppm, 0.1~120 ppm, 0.1~120 ppm이다.

(2) 휘발성 유기 화합물(VOC) 분석 표준 및 보정

- MM, DMS, DMDS 화합물의 정량화를 위해 표준 혼합가스(10.2 ppm MM, 10.0 ppm DMS and 10.1 ppm DMDS, Research Institute of Gas Analytical Science, South Korea)가 사용되었다. 다른 화합물들은 헤드스페이스/SPME 방법을 사용하여 헨리 상수를 보정하였다.(Chai 외 연구진, 2005) 화합물 시약 구매처는 다음과 같다. : AA (99.5%, Daejeong, Korea), PA (99.0%, Daejeong), BA (99%, Daejeong), i-BA(99%, Junsei, Japan), VA (99%, Alfa Aesar, England), i-VA (98%, Alfa Aesar), 인돌(99%, Aldrich), 스카톨(98%, Aldrich) p-크레졸(99%, Junsei). 탈이온수(Hach, USA)로 저장용액의 휘발성 유기산을 희석하고, 메탄올(99.9%, SigmaAldrich)로 인돌과 p-크레졸 저장용액을 희석한다. 저장용액은 탈이온수로 점차적으로 희석하여, 헨리상수에 대한 상대적인 헤드스페이스 방법을 통하여 분석하였다. (Chai 외 연구진, 2005) 본 연구에서, 테들러 백(tedlar bags)에서 위 휘발성 유기 화합물의 회수율은 유사한 실험실 환경에서 85% 이상이었다. GC/MS 플랫폼을 위한 실험실은 실험이 이루어진 연구실에 바로 위치하여 모든 샘플들을1시간 내에 분석할 수 있었다.

[표 3] GHOCs, 분자식, 법적 허용치, 분석장비

GHOCs		화학식	법적 허용치	분석 장비
N-Compounds	Ammonia	NH ₃	1ppm	Gastec
온실가스	Carbon dioxide	CO ₂	100 ppm	
S-Compounds	Hydrogen sulfide	H ₂ S	0.02ppm	
	Methyl Mercaptan	CH ₃ SH	0.002ppm	
	DMS	CH ₃ SCH ₃	0.01ppbv	
	DMDS	CH ₃ SSCH ₃	0.009 ppbv	
휘발성 지방산	Acetic acid	CH ₃ COOH	25ppbv	GC 6890N & 5975 Inert MSD
	Propionic acid	CH ₃ CH ₂ COOH	0.03ppbv	
	Butyric acid	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	0.001ppbv	
	i-butyric acid	(CH ₃) ₂ CHCOOH		
	Valeric acid	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	0.0009ppbv	
	i-valeric acid	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH	0.001ppbv	
페놀 화합물	P-cresol	CH ₃ C ₆ H ₄ OH	-	
인돌 화합물	Indole	C ₆ H ₄ (CH) ₂ N ₂	-	
	Skatole	C ₉ H ₉ N	-	

(3) 휘발성 유기 화합물 샘플 분석

- 통상적으로 사용되는 GC/MS (Agilent GC6890N/5975C MS, Youngin, Korea)가 베이스 플랫폼이었다. 이 시스템은 60m DB-5MS(J&W Scientific, Folsom, CA, USA) 0.250 mm id를 장착하고 있으며; 1.00 mm의 필름 두께로 이루어져 있다. SPME 섬유의 탈착시간은 250°C에서 0.75 mm 주입 포트 라이너를 사용했을 때 5분이었다. 적용된 온도 프로그램은 “초반35°C, 5 분 정지; 6°C min⁻¹ ~140°C, 0분 정지; 15°C min⁻¹ ~ 220°C, 5분 정지”였다.(Yao 외 연구진, 2011) 스캔과 선택 이온 모니터링(selective ion monitoring, SIM)을 동시에 적용하여 스펙트럼이 수집되었다. 본 연구에서 감지된 휘발성 유기 화합물들은 황화합물-메틸 메캅탄(MM), 황화 메틸(DMS) 이황화 메틸(DMDS) 3종, 휘발성 지방산-아세트산, 프로피온산, 부티르산, iso-부티르산, 발레르산, iso-발레르산6종, 인돌 유도체-인돌, 스카톨2종, 페놀-p-크레졸 1종으로 구성되었다. 총 12 종의 휘발성 유기 화합물이 분석되었다(그림 1). 공기는 1.0 L min⁻¹의 유량률의 저용량 공기 포집기(low volume air sampler)(Gilian, Clearwater, FL, USA)에 설치된 폴리 프로필렌 이온 교환막으로 연결된 1L의 테들러 백(SKC Inc., Eighty four, PA, USA)에서 샘플링되었다.

(4) 감지곡선

- 그림1: GC/MS 플랫폼(Agilent GC6890N/5975C MS, Youngin, Korea) 에서 휘발성 유기 화합물(VOC)의 샘플링 이후, 이 bag은 실험실로 즉시 운반되었으며, 미세 고형 추출법(solid-phase microextraction, SPME)의 섬유(Supelco, Bellefonte, PA, USA)를

사용하여 18시간 이내에 분석되었다. 섬유는 75-mm의 카르복센 - 폴리디메틸실록산 (Carboxen-polydimethylsiloxane) 이었다. 샘플은 SPME 섬유와 Supelco의 수동 섬유홀더를 같이 적용하여 30분동안 추출되었다.(Bellefonte, PA, USA) 추출 후, SPME 섬유는 테들러 백(Tedlar bag)에서 제거되었으며, 분석을 위해 가스 크로마토그래프 질량 분석계의 주입 포트에 즉시 주입되었다. 농도는 ppb (nmol mol⁻¹)로 산출되었다.

(5) 저감효율 (Reduction efficiency)

- GHOG 저감율은 식(1)과 같이 유입공기와 배출공기의 가스상 농도의 관계에서 결정된다.

$$RE (\%) = [(C_{in}-C_{out})/C_{in}] \times 100 \quad (1)$$

- 여기서, C_{in}, C_{out} : 각각 돈분뇨의 유입가스 농도, 유출가스 농도 (ppbv/ppm) (Waniet al., 1998).

(6) 통계분석

- 상관 및 저감율에 대한 모든 계산은 Microsoft Office Excel 2010 software을 활용하였다.

나. 공기의 질, 생산성, 돼지 스트레스 간 상관관계 분석

(1) 시료채취 Sampling strategies

- 본 연구에서는 밀폐 비육돈사를 대상으로 지상 1m 위치에 전면, 중간면, 후면 등 세 단면에서 미기상 변수를 측정하였다. 채혈은 6개의 각돈방에서 돈방당 3두씩 총 18두의 비육돈을 대상으로 이루어졌다. 실제 비육돈의 방해로 돈방내 측정은 거의 불가능하여, particulate matter, airborne bacteria, odorous compounds, carbon dioxide (CO₂) 등 복도에서 측정이 이루어졌다. 시료채취 시점(時點)은 급이후 돼지가 포만감을 느끼는 오후에 실시하였다. 모든 시료채취는 하루 세 번에 걸쳐 이루어졌으며, 이를 평균, 표준편차 등 통계 분석하였다. 시료는 가능한한 기기(機器)의 안정성을 위하여 청명한 날 이루어졌다.

(2) 미기상변수 (Microclimatic parameters)

- 온도, 습도는 hygrothermograph (SK-110TRH, SATO, Tokyo, and Japan)에 의하여, 유속은 anemometer (model 6112, KANOMAX, Osaka, Japan)로 측정하였다.

(3) 입자상 물질: 먼지 (Particulate matter)

- 입자상물질의 지름을 기본으로 5 단계로 분류하고 aerosol mass monitor (GT-331, SIBATA, Soca-city, Japan)를 이용하여 측정하였다. 5단계는 PM₁₀ (average aerodynamic diameter ≤10 μm), PM₇ (PM average aerodynamic diameter ≤ 7 μm), PM_{2.5} (PM mean aerodynamic diameter ≤ 2.5 μm), PM₁ (PM mean aerodynamic diameter ≤1 μm)으로 분류된다. total suspended particles (TSP)도 동시에 2.83 L/min 유동율로 실내공기를 흡입하여 농도를 분석하였다.

(4) 부유미생물(Airborne microbes)

- Airborne bacterial and fungi counts는 standard Petri dish (90 ~ 15 mm, SPL Life Sciences, Pochun-si, Korea)을 이용한 plate settling 방법으로 측정하였다. total bacterial count (TBC)를 측정하기 위해서 배지로서 Tryptic soy agar (Merck)을 이용하였으며, Total coliform (TC)과 Total E.coli (TE)는 Chromocult Coliformen agar (Merck), Fungi count는 potato dextrose agar (Merck)를 이용하여 분석하였다. 시료 채취후 시료plates 는 분석실로 이송되어 세균은 37°C, 곰팡이는 28°C에서 48 h 배양하여, colonies를 CFU/m³단위로 산정하였다

(5) 암모니아, 황화수소, 이산화탄소 (Ammonia, Hydrogen sulphide and Carbon dioxide)

- 악취와 온실가스 농도는, ammonia (NH₃), hydrogen sulphide (H₂S), carbon dioxide (CO₂)는 GASTECH device (Pump kit No. 101)에 의하여 ppm단위로 측정하였다.

(6) GC-MS에 의한 악취화합물 분석

- Apolypropylene septum에 고정된 저유동율 air sampler 1.0 L/min (Gilian, Clearwater, FL, USA)와 연결된 1 L Tedlar bag (SKC Inc., Eighty-four, PA, USA)으로 밀폐 비육돈사 세 지점의 실내공기를 채취하였다. 채취된 공기는 즉시 실험실로 옮겨져 75-mm carboxen-poly dimethyl siloxane형의 solid-phase microextraction (SPME) fibers (Supelco, Bellefonte, PA, USA)의 manual fiber holder이용하여 추출하였다. 추출후, Tedlar bag에서 이침(離針)된 SPME fibers를 GC (gas chromatograph-mass spectrometer)에 도입(引入)시킨다. GC analysis protocol은 기본적으로 Yao.et. al (Yao et al., 2011)에 따랐다. GC 분석은 ppbv (nmol-1) 단위로 VOCs를 정밀하게 분석하였다. 본 연구에서 분석 VOCs 는 황계열의 MM, Dimethyl sulfide (DMS), Dimethyl disulfide (DMDS) 등 6개 종류의 volatile fatty, 즉 acetic acid (AA), propionic acid (PA), butyric acid (BA), iso-butyric acid (i-BA), valeric acid (VA), iso-valeric acid (i-VA), phenolic p-cresol 등을 분석하였다.

(7) 비육돈의 스트레스 호르몬 Stress hormone level in blood of swine

- 밀폐돈사의 스트레스 호르몬의 수준을 분석하기 위하여 비육돈 채혈하여 the korean society of laboratory medicine에 분석을 의뢰하였다(www.seegenemedical.com).

(8) 통계분석 (Statistical Analysis)

- 본 연구의 통계분석을 위하여 SPSS software package (SPSS Inc., Chicago, IL)를 활용하였다. SPSS 중 Pair-wise correlations (Person Correlation Coefficients) 분석법을 활용하여 미기상변수(microclimate variables), 입자상 물질, 부유세균, 악취화합물, 이산화탄소 (CO₂), 스트레스 호르몬 등을 변수 간 상관성을 통계분석하였다.

4. 제 3 협동 : 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육 시스템 개발

가. 1차년도

(1) 재료 및 방법

- 본 연구는 중부한 다음에 개별 스톨에서 사육하고 3주 후 임신진단을 하여 임신을 한 임신돈을 분만모돈의 행동을 많이 제한하는 관행방법인 그림 1의 개별 스톨 시설과 분만모돈의 행동 자유를 보장해주는 그림 2의 Shoulder length barrier 시설에서 각각 사육한 후 분만 1주일 전에 분만사의 분만틀 시설로 옮겨 4주 동안 사육하고 이를 평가함으로써, 임신사의 시설(개별 스톨 시설, Shoulder length barrier 시설)과 분만사 내 암모니아 농도가 분만모돈의 생산성에 어떤 영향을 미치는지 규명하고 분만모돈의 복지를 위한 적정 호르몬 농도, 복지형 사육시설, 복지형 사양관방법(환경기준) 등을 제시하고자 수행하였음

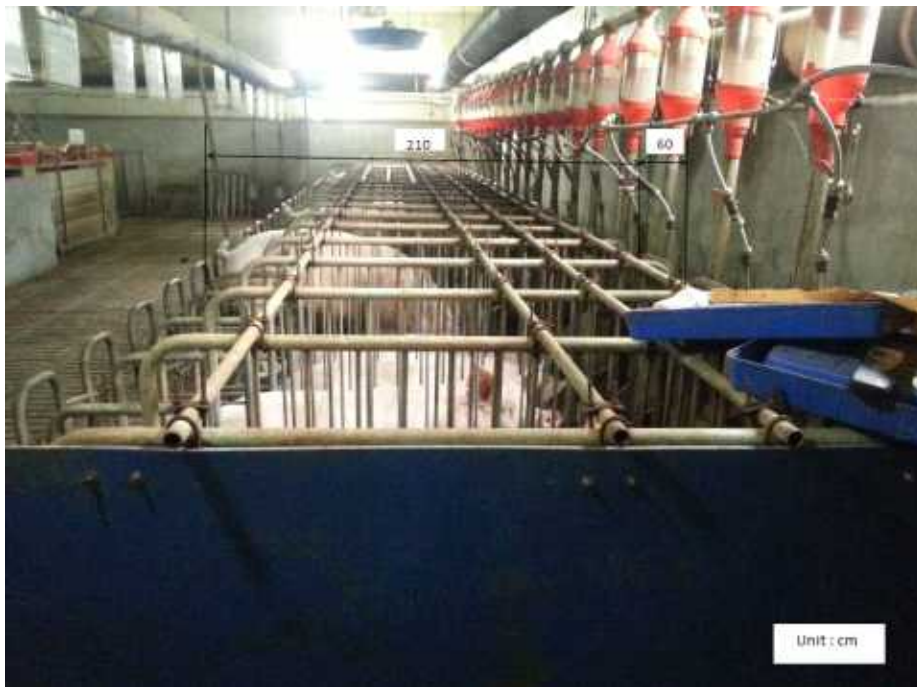
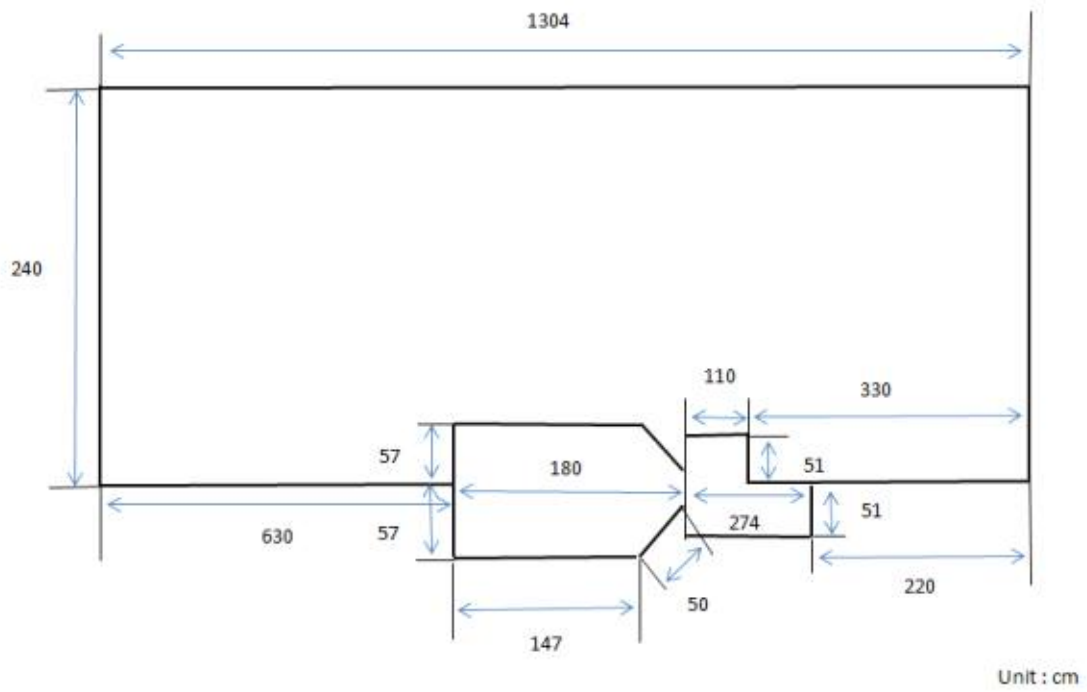


그림 1. 개별 스톨 시설



a) 사진



b) 평면도

그림 2. 임신사 내 Shoulder length barrier 시설



그림 3. 분만사 내 분만틀 시설

처리구별로 분만모돈 30두씩을 배치하여 실험을 실시하였음

- 분만사 내부 환경 측정을 위해 온습도계, 풍속계 및 암모니아측정기는 분만틀 바로 옆 중앙 70cm 높이에 설치되었음
- 분만사 내 온도와 상대습도는 그림 4와 같은 온습도계 (Thermo Recorder TR-72U, T&D corporation, Japan)를 이용하여 측정하였음
-



그림 4. 온습도계

- 분만돈사 내 풍속은 그림 5와 같은 풍속계 (testo 425, testo, USA)를 이용하여 측정하였음



그림 5. 풍속계

- 분만돈사 내 암모니아 가스 농도는 그림 6과 같은 암모니아측정기 (Z800XP, Environmental Sensors Co., USA)를 이용하여 측정하였음



그림 6. 암모니아측정기

- 모든 통계처리는 PASW Statistics 18(SPSS Inc)을 이용하여 수행하였으며, 모든 평균간 비교는 일원배치법으로 실시하였음

나. 2차년도

(1) 재료 및 방법

- 사육시설이 임신돈의 생산성과 복지에 미치는 영향을 규명하기 위하여 시설관련 실험 그룹을 2개 그룹으로 나누었다. 다시 말해서 종부한 다음에 개별 스톨로 이동시켜 사육하고 종부 후 3주차에 임신진단을 한 후 그림 1과 같은 개별 스톨에서 계속 사육하는 스톨 사육 그룹과 그림 2와 같은 Shoulder length barrier 시설로 옮겨 사육하는 Shoulder length barrier 군사육 그룹으로 나누었다.
- 암모니아 가스 농도가 임신돈의 복지에 미치는 영향을 규명하기 위해 개별 스톨 시설과 Shoulder length barrier 시설마다 암모니아관련 실험 그룹을 3개 그룹으로 나누었다. 즉, 4시간마다 암모니아측정기(Z800XP, Environmental Sensors Co., USA)로 암모니아 농도를 측정 후 이를 근거로 하여 환기팬 제어기에 환기량 퍼센트를 설정하여 환기팬을 가동시킴으로써 암모니아의 농도를 5 ± 3 , 10 ± 3 , 15 ± 3 ppm으로 조절하였다.
- 개별 스톨과 Shoulder length barrier 시설에서 각각 사육한 후 분만 1주일 전에 분만사의 분만틀 시설로 옮겨 사육하였으며, 분만과 동시에 모돈의 BCS, 평균산자수, 평균생시체중 등을 측정하였다.

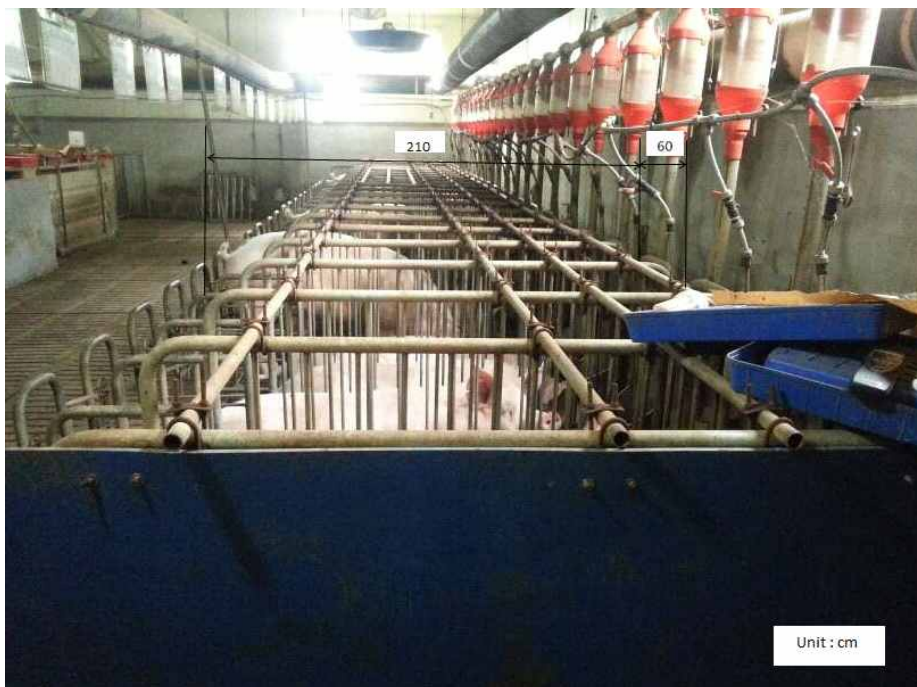


그림 1. 임신돈사 내 개별 스톨 시설



그림 2. 임신돈사 내 Shoulder length barrier 시설

- 이원배치법(시설 2처리 × 암모니아 농도 3처리)으로 실험설계를 하였으며, 처리구별로 임신돈 30두씩을 배치하여 실험을 실시하였다.
- 임신돈사 내부 환경 측정을 위해 온습도계, 풍속계 및 암모니아측정기는 임신돈사 중앙 70cm 높이에 설치되었다.
- 임신돈사 내 온도와 상대습도는 그림 3과 같은 온습도계 (Thermo Recorder TR-72U, T&D corporation, Japan)를 이용하여 측정하였다.



그림 3. 온습도계

- 임신돈사 내 풍속은 그림 4와 같은 풍속계 (testo 425, testo, USA)를 이용하여 측정하였다.



그림 4. 풍속계

- 임신돈사 내 암모니아 가스 농도는 그림 5와 같은 암모니아측정기 (Z800XP, Environmental Sensors Co., USA)를 이용하여 측정하였다.



그림 5. 암모니아측정기

- 돼지 호흡기 항체가 측정: 임신 모돈의 경정맥으로부터 채혈을 수행한 후, 혈청을 분리하여 호흡기 항체가를 측정하였다. 측정 대상 질병은 돼지호흡기생식기증후군(PRRS), 홍막폐렴, atropic rhinitis를 측정하였으며, PRRS는 IDEXX사의 ELISA kit를 이용하였고, 기타 질병에 대해서는 중앙백신연구소로부터 분양받은 항원을 이용하여 MAT를 실시하여 평가하였다.
- MAT 평가방법
 - 1) microplate에 혈청명 및 희석배수를 기입한다. (처음 희석배수는 1:10)
 - 2) 희석액을 첫 번 well을 제외한 나머지 전 well에 25ul씩 분주한다.
 - 3) 마이크로피펫을 사용하여 가검혈청을 첫 번째 well에 50ul씩 분주한다.
 - 4) 양성대조혈청 50ul를 대조군 첫 well에 분주한다.
 - 5) 25ul용 multipipette으로 항원 대조 well을 제외한 나머지를 위(A)에서 아래(H)로 2배수 단계희석한다.
 - 6) 응집항원을 25ul씩 모든 well에 분주한다.
 - 7) microplate용 믹서로 잘 혼합시킨 후, plate를 랩 등으로 봉하여 37°C에서 2시간 정치시킨 다음, 다시 plate를 4°C에 하룻밤 정치시킨다.
 - 8) Plate를 냉장고에서 꺼내서 실온에서 15분간 정치시킨 후
 - 9) 밝고 편평한 장소에서 아래에 흑지를 깔고, 그 위에 plate를 놓고 충분한 광량하에서 응집을 관찰한다.
- 스트레스 호르몬 측정: 분만모돈으로부터 채혈한 후, 혈청 중 스트레스호르몬 (cortisol) 양을 측정함. 측정방법은 Enzo Life Sciences사의 ELISA kit를 이용하여 농도를 측정하였다.
- 호흡기 질병여부: 육안적 평가에 의해 개구호흡, 기침 및 폐렴 등을 평가하였다.
- 모돈 백신 현황: 농장주의 진술에 의거 백신현황을 조사하였다.
- 낙하세균 측정: 낙하세균검사방법은 농림축산검역본부의 예규에 의해 실시하였음. 각 돈방에 영양배지를 5 곳에 방치한 후 30초간 개방을 통해 낙하 세균을 집하하고, 37도에서 48시간 반응 후 colony forming unit (CFU)를 측정하여, CFU 평균치를 돈방의 평균 낙하균으로 평가하였다.
- 모든 통계처리는 PASW Statistics 18(SPSS Inc)을 이용하여 수행하였으며, 모든 평균간 비교는 이원배치법으로 실시하였다.

다. 3차년도

(1) 재료 및 방법

- 본 실험은 사육밀도가 이유자돈과 육성비육돈의 생산성과 복지에 미치는 영향을 규명하기

위하여 수행되었다. 실험용 이유자돈이 그림 1의 이유자돈사에 있는 2.6m×3.0m(7.8m²) 크기의 돈방에 사육밀도에 따라 각각 입식되었다. 즉, 고밀도의 경우 한 방에 31두를 입식시켜 0.25m²/hd로 하였으며, 중밀도의 경우 한 방에 22두를 입식시켜 0.35m²/hd로 하였고, 저밀도의 경우 한 방에 17두를 입식시켜 0.45m²/hd로 하였다. 실험용 육성돈이 그림 2의 육성돈사에 있는 3.4m×5.0m(17.0m²) 크기의 돈방에 사육밀도에 따라 각각 입식되었다. 즉, 고밀도의 경우 한 방에 42두를 입식시켜 0.4m²/hd로 하였으며, 중밀도의 경우 한 방에 34두를 입식시켜 0.5m²/hd로 하였고, 저밀도의 경우 한 방에 28두를 입식시켜 0.6m²/hd로 하였다.



그림 1. 실험용 이유자돈사 내부 전경



그림 2. 실험용 육성돈사 내부 전경

- 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성돈의 생산성과 복지에 미치는 영향을 규명하기 위해 사육밀도별로 암모니아 가스 관련 실험 그룹을 3개 그룹으로 나누었다. 즉, 4시간마다 암모니아측정기(Z800XP, Environmental Sensors Co., USA)로 암모니아 농도를 측정한 후 이를 근거로 하여 환기팬 제어기에 환기량 퍼센트를 설정하여 환기팬을 가동시킴으로써 암모니아 가스의 농도를 5±3, 10±3, 15±3 ppm으로 조절하였다.
- 사육밀도 그룹별 암모니아 가스 농도 그룹별로, 개시체중은 입식 당일에 측정하였고, 종료체중은 입식일로부터 28일째 되는 날 측정하였다. 암모니아 가스 농도, 풍속, 온도 및 상대습도는 입식 일을 기준으로 1주일 간격으로 측정하였다. 그리고 돼지 행동은 입식 일을 기준으로 2주째 되는 날 아침 9시부터 오후 6시까지 사육밀도별로 암모니아 가스 농도 5ppm 그룹에 대하여 측정하였다.
- 이원배치법(사육밀도 3수준 처리 × 암모니아 가스 농도 3수준 처리)으로 실험설계를 하였으며, 처리구별로 3반복으로 실험을 실시하였다.
- 각 돈사 내부 환경 측정을 위해 온습도계, 풍속계 및 암모니아측정기는 각 돈사 중앙 1m 높이에 설치되었다.
- 각 돈사 내 온도와 상대습도는 그림 3과 같은 온습도계 (Thermo Recorder TR-72U, T&D corporation, Japan)를 이용하여 측정하였다.



그림 3. 온습도계

- 각 돈사 내 풍속은 그림 4와 같은 풍속계 (testo 425, testo, USA)를 이용하여 측정하였다.



그림 4. 풍속계

- 각 돈사 내 암모니아 가스 농도는 그림 5와 같은 암모니아측정기 (Z800XP, Environmental Sensors Co., USA)를 이용하여 측정하였다.

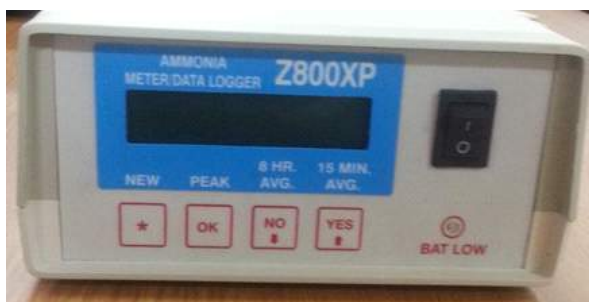


그림 5. 암모니아측정기

- 돼지 호흡기 항체가 측정: 임신 모돈의 경정맥으로부터 채혈을 수행한 후, 혈청을 분리하여 호흡기 항체가를 측정하였다. 측정 대상 질병은 돼지호흡기생식기증후군(PRRS), 흉막폐렴, atropic rhinitis를 측정하였으며, PRRS는 IDEXX사의 ELISA kit를 이용하였고, 기타 질병에 대해서는 중앙백신연구소로부터 분양받은 항원을 이용하여 MAT를 실시하여 평가하였다.

▪ MAT 평가방법

- 1) microplate에 혈청명 및 희석배수를 기입한다. (처음 희석배수는 1:10)
- 2) 희석액을 첫 번 well을 제외한 나머지 전 well에 25ul씩 분주한다.
- 3) 마이크로피펫을 사용하여 가검혈청을 첫 번째 well에 50ul씩 분주한다.
- 4) 양성대조혈청 50ul를 대조군 첫 well에 분주한다.
- 5) 25ul용 multipipette으로 항원 대조 well을 제외한 나머지를 위(A)에서 아래(H)로 2배수 단계희석한다.
- 6) 응집항원을 25ul씩 모든 well에 분주한다.
- 7) microplate용 믹서로 잘 혼합시킨 후, plate를 랩 등으로 봉하여 37°C에서 2시간 정치시킨 다음, 다시 plate를 4°C에 하룻밤 정치시킨다.
- 8) Plate를 냉장고에서 꺼내서 실온에서 15분간 정치시킨 후
- 9) 밝고 편평한 장소에서 아래에 흑지를 깔고, 그 위에 plate를 놓고 충분한 광량하에서 응집을 관찰한다.

▪ 스트레스 호르몬 측정: 분만모돈으로부터 채혈한 후, 혈청 중 스트레스호르몬 (cortisol) 양을 측정함. 측정방법은 Enzo Life Sciences사의 ELISA kit를 이용하여 농도를 측정하였다.

▪ 호흡기 질병여부: 육안적 평가에 의해 개구호흡, 기침 및 폐렴 등을 평가하였다.

▪ 모든 백신 현황: 농장주의 진술에 의거 백신현황을 조사하였다.

▪ 낙하세균 측정: 낙하세균검사방법은 농림축산검역본부의 예규에 의해 실시하였음. 각 돈방에 영양배지를 5 곳에 방치한 후 30초간 개방을 통해 낙하 세균을 집하하고, 37도에서 48시간 반응 후 colony forming unit (CFU)를 측정하여, CFU 평균치를 돈방의 평균 낙하균으로 평가하였다.

▪ 모든 통계처리는 PASW Statistics 18(SPSS Inc.)을 이용하여 수행하였으며, 모든 평균간 비교는 이원배치법으로 실시하였다.

제2절 연구내용 및 결과

1. 제 1 세부 : 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발

가. 시험 1. 솔더 사육시스템을 이용한 군사사육이 모돈 번식성적에 미치는 영향

(1) 1산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 사육형태가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 1에 나타내었다. 모돈의 복당산자수 및 이유두수는 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높았고 ($P<0.05$) 모돈의 체중손실에 있어서 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 모돈의 사료섭취량, 등지방 두께 및 재취발정일에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$). 하지만, 등지방 손실에 있어서 수치상 그룹과 솔더 처리구가 낮은 경향을 보였다.

Table 1. Effect of management system on growth performance in lactating sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Parity	1	1	1	-
n	30	30	30	-
Litter				
No. of pigs	10.5 ^b	12.2 ^a	11.8 ^a	1.0
Weaned Pigs	10.0 ^b	11.8 ^a	11.6 ^a	0.9
Body weight, kg				
Before farrowing ³	212.8	215.4	214.2	3.2
After farrowing	195.2	198.3	195.8	2.9
Weanling	182.6	189.7	185.8	2.4
Body weight loss ¹⁴	17.6	17.1	18.4	0.8
Body weight loss ²⁴	12.6 ^a	9.6 ^b	10.0 ^b	1.1
ADFI, kg				
Gestation	2.62	2.62	2.62	-
Lactation	6.71	6.84	6.76	0.34
Backfat thickness, mm				
Before farrowing ³	22.6	23.2	22.4	0.5
After farrowing	22.4	23.0	22.1	0.4
Weanling	17.8	19.4	18.3	0.3
Backfat thickness loss ⁵	4.6	3.6	3.8	0.3
Estrus interval, d	4.8	4.5	4.6	0.2

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfatthickness loss : after farrowing to weanling.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 생산성에 미치는 영향은 Table 2에 나타내었다. 포유자돈의 생산성에서는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나 (P>0.05) 분만시 자돈의 사산 및 폐사율에 있어서는 GM 및 SM 처리구 CON 처리구보다 유의적으로 낮은 결과를 보였다 (P<0.05).

Table 2. Effect of management system on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Piglet survival, %	95.2	96.7	97.4	2.3
Body Weight, kg				
Birth Weight	1.41	1.46	1.44	0.05
1 wk	2.67	2.73	2.72	0.11
2 wk	4.25	4.32	4.30	0.14
3 wk	5.97	6.05	6.01	0.16
Weanling	7.82	7.90	7.84	0.17
Average daily gain, g				
Birth to 1 wk	180	181	183	7
1 wk to 2 wk	226	227	226	7
2 wk to 3 wk	245	247	244	6
3 wk to weanling	263	264	261	5
Overall	229	230	229	6
Stillbirth, %	7.2 ^a	4.4 ^b	5.8 ^b	1.8

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 사육형태가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도는 Table 3에 나타내었다. 모돈의 혈액내 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine 농도는 임신 50일령 및 임신 108일령에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 모돈의 이유시 및 자돈의 혈액내 스트레스 관련 물질 농도는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 3. Effect of management system on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Sows				
Gestation, 50th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.1 ^a	2.6 ^b	2.2 ^b	0.3
Epinephrine, pg/mL	47.4 ^a	24.5 ^b	27.5 ^b	4.0
Norepinephrine, pg/mL	98.0 ^a	84.5 ^b	78.1 ^b	8.6
Gestation, 108th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.3 ^a	2.2 ^b	2.4 ^b	0.7
Epinephrine, pg/mL	50.2 ^a	30.9 ^b	28.4 ^b	5.2
Norepinephrine, pg/mL	106.6 ^a	76.2 ^b	86.5 ^b	9.2
Weanling				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	3.4	3.1	3.3	0.3
Epinephrine, pg/mL	35.7	33.4	32.7	4.5
Norepinephrine, pg/mL	90.4	92.5	89.1	10.8
Piglets				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	1.1	1.2	1.2	0.1
Epinephrine, pg/mL	12.4	12.1	13.3	1.0
Norepinephrine, pg/mL	32.6	35.3	34.0	2.1

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 사육형태가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 4에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 4. Effect of management system on rectum temperature in sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Rectum temperature, °C				
Gestation, 50th d	39.1	39.1	39.4	0.1
Gestation, 108th d	39.4	39.3	39.3	0.1
Weanling	39.2	39.2	39.1	0.1

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 5에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 5. Effect of management system on fecal score in piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Fecal score ³				
7 d	3.77	3.73	3.71	0.04
14 d	3.63	3.59	3.51	0.04
21 d	3.23	3.21	3.20	0.05
Weanling	3.03	3.05	3.03	0.01

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 6에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 6. The effects of management system on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	GM	SM	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.69	7.66	7.72	0.02
<i>E. coli</i>	5.83	5.79	5.80	0.02

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

(2) 2산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 사육형태가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 7에 나타내었다. 모돈의 복당산자수 및 이유두수는 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높았고 ($P<0.05$) 모돈의 체중 및 등지방 손실에 있어서 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 모돈의 사료섭취량 및 재귀발정일에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$). 하지만, 포유기간동안 모돈의 사료섭취량은 그룹 및 솔더 처리구가 수치상으로 높은 경향을 보였다.

Table 7. Effect of management system on growth performance in lactating sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Parity	2	2	2	-
n	25	28	28	-
Litter				
No. of pigs	10.3 ^b	11.7 ^a	11.5 ^a	1.1
Weaned Pigs	9.8 ^b	11.5 ^a	11.2 ^a	1.0
Body weight, kg				
Before farrowing ³	218.7	212.4	220.2	2.9
After farrowing	196.2	198.3	195.8	2.5
Weanling	183.0	197.5	184.5	2.1
Body weight loss ¹⁴	20.6	19.5	21.0	0.7
Body weight loss ²⁴	13.2 ^a	10.8 ^b	11.3 ^b	1.1
ADFI, kg				
Gestation	2.62	2.62	2.62	-
Lactation	6.94	7.06	7.18	0.34
Backfat thickness, mm				
Before farrowing ³	24.7	23.6	24.6	0.5
After farrowing	24.5	23.5	24.5	0.4
Weanling	19.2	20.3	21.0	0.3
Backfat thickness loss ⁵	4.8 ^a	3.2 ^b	3.5 ^b	0.3
Estrus interval, d	4.6	4.5	4.5	0.2

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfat thickness loss : after farrowing to weanling.

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 생산성에 미치는 영향은 Table 8에 나타내었다. 포유자돈의 체중에서 3주차 및 이유시 체중에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 포유자돈의 일당증체량에서 2~3주, 3주~이유시 및 전체 포유기간동안에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 자돈의 자돈의 사산율과 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 8. Effect of management system on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Piglet survival, %	95.2	96.7	97.4	2.3
Body Weight, kg				
Birth Weight	1.36	1.47	1.45	0.05
1 wk	2.62	2.79	2.75	0.11
2 wk	4.20	4.43	4.38	0.14
3 wk	5.97 ^b	6.26 ^a	6.22 ^a	0.16
Weanling	7.79 ^b	8.18 ^a	8.11 ^a	0.17
Average daily gain, g				
Birth to 1 wk	180	189	185	4
1 wk to 2 wk	226	234	233	6
2 wk to 3 wk	253 ^b	261 ^a	263 ^a	6
3 wk to weanling	260 ^b	274 ^a	270 ^a	5
Overall	230 ^b	240 ^a	238 ^a	6
Stillbirth, %	6.6	5.2	5.8	4.0

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 사육형태가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도는 Table 9에 나타내었다. 임신 50일령에 있어서 cortisol, 및 norepinephrine 농도에 있어 GM 및 SM 처리구가 Con 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났고 (P<0.05), epinephrine 농도에 있어 GM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 분만틀 입식전에 있어 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine 농도에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 또한 이유시 혈액내 cortisol 농도에 있어 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 자돈의 혈액내 스트레스 관련 물질 농도는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05).

Table 9. Effect of management system on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Sows				
Gestation, 50th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.1 ^a	2.8 ^b	3.0 ^b	0.3
Epinephrine, pg/mL	47.1 ^a	32.2 ^b	34.9 ^{ab}	4.4
Norepinephrine, pg/mL	99.0 ^a	85.9 ^b	73.3 ^b	9.0
Gestation, 108th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.1 ^a	2.5 ^b	2.3 ^b	0.5
Epinephrine, pg/mL	56.6 ^a	29.7 ^b	34.8 ^b	5.7
Norepinephrine, pg/mL	103.2 ^a	86.4 ^b	80.4 ^b	8.7
Weanling				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.0 ^a	3.2 ^{ab}	2.9 ^b	0.3
Epinephrine, pg/mL	40.2	38.7	41.4	4.3
Norepinephrine, pg/mL	105.6	93.9	95.6	10.0
Piglets				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	1.3	1.3	1.2	0.1
Epinephrine, pg/mL	14.2	13.9	12.8	1.0
Norepinephrine, pg/mL	36.4	36.8	32.2	2.1

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

(마) 모돈의 직장온도

- 임신단계 사육형태가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 10에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 10. Effect of management system on rectum temperature in sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Rectum temperature, °C				
Gestation, 50th d	39.2	39.4	39.3	0.1
Gestation, 108th d	39.4	39.1	39.3	0.1
Weanling	39.5	39.2	39.2	0.1

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

(바) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 11에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 11. Effect of management system on fecal score in piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Fecal score ³				
7 d	3.71	3.79	3.81	0.04
14 d	3.55	3.50	3.20	0.04
21 d	3.21	33.2	3.27	0.05
Weanling	3.02	3.02	3.03	0.02

¹ Abbreviation : CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(3) 3산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 사육형태가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 12에 나타내었다. 모돈의 복당산자수는 GM처리구가 SM 및 CON 처리구보다 유의적으로 높았고 (P<0.05) 이유두수는 SM 처리구가 CON 처리구 및 GM처리구보다 유의적으로 높았다 (P<0.05). 모돈의 체중손실에 있어서 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 등지방 손실에 있어서 CON처리구가 GM 및 SM 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 (P<0.05). 그러나 모돈의 사료섭취량 및 재귀발정일에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05). 하지만, 등지방 손실에 있어서 수치상 그룹과 솔더 처리구가 낮은 경향을 보였다.

Table 12. Effect of management system on growthperformance in lactating sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Parity	3	3	3	-
n	23	27	26	-
Litter				
No.ofpigs	10.5 ^b	12.2 ^a	11.8 ^a	1
Weaned Pigs	10.0 ^b	11.8 ^a	11.6 ^a	0.9
Body weight, kg				
Beforefarrowing ³	212.8	215.4	214.2	3.2
After farrowing	195.2	198.3	195.8	2.9
Weanling	182.6	189.7	185.8	2.4
Bodyweightloss1 ⁴	17.6	17.1	18.4	0.8
Bodyweightloss2 ⁴	12.6 ^a	9.6 ^b	10.0 ^b	1.1
ADFI, kg				
Gestation	2.62	2.62	2.62	-
Lactation	6.71	6.84	6.76	0.34
Backfat thickness, mm				
Beforefarrowing ³	22.6	23.2	22.4	0.5
After farrowing	22.4	23	22.1	0.4
Weanling	17.8	19.4	18.3	0.3
Backfatthicknessloss ⁵	4.6	3.6	3.8	0.3
Estrus interval, d	4.8	4.5	4.6	0.2

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem; GM, groupmanagementsystem; SM, shouldermanagementsystem

²Standarderror.

³Beforefarrowing:before4daysago

⁴Bodyweightloss:1,beforefarrowingtoafterfarrowing;2,afterfarrowingtoweaning.

⁵Backfatthicknessloss:afterfarrowingtoweaning.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferentsuperscripts differ (P<0.05).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 생산성에 미치는 영향은 Table 13에 나타내었다. 포유자돈의 생산성에서는 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나 (P>0.05) 분만시 자돈의 사산 및 폐사율에 있어서는 GM 및 SM 처리구 CON 처리구보다 유의적으로 낮은 결과를 보였다 (P<0.05).

Table 13. Effect of management system on growthperformance in suckling piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Piglet survival, %	96.8	95.9	96.2	1.9
Body Weight, kg				
Birth Weight	1.37	1.36	1.42	0.06
1 wk	2.67	2.61	2.69	0.15
2 wk	4.21	4.19	4.23	0.17
3 wk	5.86	5.88	5.91	0.18
Weanling	7.64	7.63	7.71	0.15
Average daily gain, g				
Birth to 1 wk	185	179	182	5
1 wk to 2 wk	221	225	219	6
2 wk to 3 wk	236	242	240	5
3 wk to weanling	254	250	258	7
Overall	224	224	225	5
Stillbirth, %	6.2	5.4	5.5	2.4

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ(P<0.05).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 사육형태가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도는 Table 14에 나타내었다. 모돈의 혈액내 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine 농도는 임신 50일령에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났고 (P<0.05), 분만틀 입식전에 있어 cortisol, norepinephrine 농도는 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났지만 (P<0.05), epinephrine 농도는 CON 처리구가 GM 및 SM 처리구에 비해 높게 나타났다 (P>0.05). 모돈의 이유시에 있어 cortisol, norepinephrine 농도는 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 하지만 자돈의 혈액내 스트레스 관련 물질 농도는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05).

Table 14. Effect of management system on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Sows				
Gestation, 50th d				
Cortisol,ug/dL	4.2 ^a	3.1 ^b	3.0 ^b	0.08
Epinephrine,pg/mL	47.3 ^a	38.9 ^b	41.5 ^b	1.1
Norepinephrine,pg/mL	98.7 ^a	84.3 ^b	76.6 ^c	1
Gestation, 108th d				
Cortisol,ug/dL	4.1 ^a	2.7 ^b	2.5 ^b	0.1
Epinephrine,pg/mL	57.7 ^a	27.1 ^c	33.3 ^b	1.1
Norepinephrine,pg/mL	101.2 ^a	87.2 ^b	88.3 ^b	1.3
Weanling				
Cortisol,ug/dL	4.0 ^a	3.1 ^b	2.9 ^b	0.1
Epinephrine,pg/mL	42.5	40.3	41.3	1
Norepinephrine,pg/mL	101.3 ^a	92.7 ^b	90.1 ^b	1.4
Piglets				
Cortisol,ug/dL	1.4	1.5	1.5	0.1
Epinephrine,pg/mL	13.1	13.2	13.8	0.4
Norepinephrine,pg/mL	38.5	38.7	33.2	1.1

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

^{a,b,c}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ (P<0.05).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 사육형태가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 15에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 15. Effect of management system on rectumtemperature in sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Rectumtemperature, °C				
Gestation, 50th d	39.0	38.9	39.2	0.6
Gestation, 108th d	39.5	39.2	39.4	0.3
Weanling	38.9	38.6	38.8	0.3

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 16에 나타내었다. 1주와 3주에 있어 포유자돈의 설사지수는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$). 하지만 2주째의 포유자돈의 설사지수에 있어 CON 처리구가 SM 처리구에 비해 유의적으로 높게 나타났다 ($P > 0.05$).

Table 16. Effect of management system on fecal score in piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Fecalscore ³				
7 d	3.65	3.6	3.53	0.11
14 d	3.52 ^a	3.36 ^{ab}	3.16 ^b	0.07
21 d	3.20	3.18	3.08	0.04
Weanling	3.13	3.10	3.10	0.05

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Fecalscores:1hard,drypellet;2firm,formedstool;3soft,moiststoolthatretainsshape;4soft,unformedstoolthatassumesshapeofcontainer;5wateryliquidthatcanbepoured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 17에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 17. The effects of management system on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	GM	SM	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.7	7.67	7.66	0.01
<i>E. coli</i>	5.73	5.69	5.71	0.02

¹Abbreviation: CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

²Standard error.

(4) 4산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 사육형태가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 18에 나타내었다. 모돈의 복당산자수 및 이유두수는 처리구간 유의적인 차이가 나타나지 않았고 모돈의 체중 및 등지방 손실에 있어서 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났고 (P<0.05), 분만 전후의 체중과 이유 후 체중에 있어 GM 처리구가 CON 및 SM 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 (P>0.05). 모돈의 사료섭취량 및 재귀발정일에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05). 하지만, 포유기간동안 모돈의 사료섭취량은 GM 및 SM 처리구가 유의적으로 높게 나타났다 (P>0.05).

Table 18. Effect of management system on growthperformance in lactating sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Parity	4	4	4	-
n	20	24	23	-
Litter				
No.ofpigs	11	12	11	1.1
Weaned Pigs	9.6	10.4	10	1
Body weight, kg				
Beforefarrowing ³	219 ^b	222 ^a	220 ^{ab}	2
After farrowing	198 ^b	204 ^a	196 ^b	1.3
Weanling	170 ^b	185 ^a	168 ^b	2.1
Bodyweightloss1 ⁴	20.3 ^b	18.6 ^b	23.7 ^a	0.7
Bodyweightloss2 ⁴	27.4 ^a	18.7 ^b	27.3 ^a	1
ADFI, kg				
Gestation	1.74	1.74	1.74	-
Lactation	7.38 ^a	7.25 ^a	6.58 ^b	0.15
Backfat thickness, mm				
Beforefarrowing ³	23.1	22.9	22.8	0.3
After farrowing	22.8	22.7	22.5	0.2
Weanling	18.6	18.9	18.9	0.3
Backfatthicknessloss ⁵	4.2 ^a	3.7 ^b	3.6 ^b	0.1
Estrus interval, d	4.5	4.4	4.4	0.1

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Beforefarrowing:before4daysago

⁴Bodyweightloss:1,beforefarrowingtoafterfarrowing;2,afterfarrowingtoweaning.

⁵Backfatthicknessloss:afterfarrowingtoweaning.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ (P<0.05).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 생산성에 미치는 영향은 Table 19에 나타내었다. 포유자돈의 체중에서 2주차, 3주차 및 이유시 체중에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 포유자돈의 일당증체량에서 개시~1주, 1주~2주, 2~3주, 3주~이유시 및 전체 포유기간동안에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 자돈의 자돈의 사산율과 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 19. Effect of management system on growthperformance in suckling piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Piglet survival, %	95.2	96.2	96.5	1.1
Body Weight, kg				
Birth Weight	1.42	1.42	1.42	0.02
1 wk	2.66 ^b	2.72 ^a	2.73 ^{ab}	0.02
2 wk	4.2 ^b	4.3 ^a	4.4 ^a	0.02
3 wk	5.98 ^b	6.316 ^a	6.19 ^a	0.02
Weanling	7.81 ^b	8.08 ^a	8.10 ^a	0.03
Average daily gain, g				
Birth to 1 wk	178 ^b	187 ^a	186 ^a	2
1 wk to 2 wk	222 ^b	230 ^a	233 ^a	2
2 wk to 3 wk	253 ^b	260 ^{ab}	263 ^a	3
3 wk to weanling	261 ^b	274 ^a	273 ^a	2
Overall	229 ^b	238 ^a	239 ^a	1
Stillbirth, %	7.4	5.6	5.9	1.2

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ ($P<0.05$).

(다) 모든 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 사육형태가 모든 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도는 Table 20에 나타내었다. 임신 50일령에 있어서 cortisol, 및 norepinephrine 농도에 있어 GM 및 SM 처리구가 Con 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났고 (P<0.05), epinephrine 농도에 있어 GM 처리구 및 SM처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 분만틀 입식전에 있어 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine 농도에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 또한 이유시 혈액 내 cortisol 및 norepinephrine 농도에 있어 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 자돈에 있어 norepinephrine의 농도에 있어 SM 처리구는 CON 및 GM 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05).

Table 20. Effect of management system on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Sows				
Gestation, 50th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.3 ^a	2.6 ^b	2.5 ^b	0.1
Epinephrine, pg/mL	47.6 ^a	31.8 ^b	32.2 ^b	1
Norepinephrine, pg/mL	99.4 ^a	84 ^b	73 ^b	1.1
Gestation, 108th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.1 ^a	2.4 ^b	2.3 ^b	0.1
Epinephrine, pg/mL	55 ^a	31 ^b	33 ^b	1
Norepinephrine, pg/mL	106 ^a	85 ^b	84 ^b	1.1
Weanling				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	3.9 ^a	3.3 ^b	3.1 ^b	0.1
Epinephrine, pg/mL	40.5	39.5	39.4	0.8
Norepinephrine, pg/mL	102 ^a	91 ^b	91 ^b	1.3
Piglets				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	1.3	1.3	1.2	0.07
Epinephrine, pg/mL	13	14	13	0.4
Norepinephrine, pg/mL	37 ^a	31 ^b	32 ^b	1.3

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferentsuperscriptsdiffer(P<0.05).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 사육형태가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 21에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 21. Effect of management system on rectum temperature in sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Rectumtemperature, °C				
Gestation, 50th d	39.0	38.9	39.2	0.6
Gestation, 108th d	39.5	39.3	39.4	0.3
Weanling	38.9	38.6	38.8	0.3

¹Abbreviation:CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

²Standarderror.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 22에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 22. Effect of management system on fecal score in piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Fecalscore ³				
7 d	3.73	3.76	3.75	0.07
14 d	3.60	3.50	3.40	0.07
21 d	3.20	3.30	3.20	0.06
Weanling	3.01	3.03	3.02	0.07

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem; GM, groupmanagementsystem; SM, shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Fecalscores:1hard, drypellet;2firm, formedstool;3soft, moiststoolthatretainsshape;4soft, unformedstoolthatassumesshapeofcontainer;5wateryliquidthatcanbepoured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 23에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 23. The effects of management system on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	GM	SM	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.72	7.76	7.74	0.02
<i>E. coli</i>	5.75	5.63	5.60	0.03

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem; GM, groupmanagementsystem; SM, shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

(5) 5산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 사육형태가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 24에 나타내었다. 모돈의 번식생산성에 있어 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 24. Effect of management system on growthperformance in lactating sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Parity	5	5	5	-
n	17	21	20	-
Litter				
No.ofpigs	11.1	10.8	11.2	0.8
Weaned Pigs	10.8	10.7	11.0	0.7
Body weight, kg				
Beforefarrowing ³	228.6	226.2	223.8	2.4
After farrowing	198.9	196.5	197.3	1.8
Weanling	180.0	183.7	187.3	1.5
Bodyweightloss1 ⁴	29.6	29.7	26.6	0.9
Bodyweightloss2 ⁴	18.9	12.8	10.0	0.9
ADFI, kg				
Gestation	6.55	6.55	6.55	-
Lactation	6.67	6.84	6.64	0.12
Backfat thickness, mm				
Beforefarrowing ³	19.8	20.2	20.2	0.2
After farrowing	19.3	19.7	19.8	0.3
Weanling	15.5	16.3	16.1	0.3
Backfatthicknessloss ⁵	3.8	3.4	3.7	0.1
Estrus interval, d	4.2	4.1	4.2	0.1

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Beforefarrowing:before4daysago

⁴Bodyweightloss:1,beforefarrowingtoafterfarrowing;2,afterfarrowingtoweaning.

⁵Backfatthicknessloss:afterfarrowingtoweaning.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferentscripts differ($P<0.05$).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 생산성에 미치는 영향은 Table 25에 나타내었다. 포유자돈의 일당증체량에서 전체포유기간동안에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났고 (P<0.05), 자돈의 폐사율에 있어서는 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05).

Table 25. Effect of management system on growthperformance in suckling piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Piglet survival, %	97.3	99.1	98.2	1.2
Body Weight, kg				
Birth Weight	1.38	1.41	1.40	0.08
1 wk	2.65	2.71	2.81	0.15
2 wk	4.25	4.36	4.34	0.14
3 wk	5.99	6.47	6.43	0.15
Weanling	7.74	8.01	7.94	0.16
Average daily gain, g				
Birth to 1 wk				
1 wk to 2 wk	181	186	201	2
2 wk to 3 wk	229	236	219	3
3 wk to weanling	249	301	299	3
Overall	227 ^b	236 ^a	234 ^a	3
Stillbirth, %	6.4 ^a	5.8 ^b	6.0 ^b	0.9

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ(P<0.05).

(다) 모든 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 사육형태가 모든 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도는 Table 26에 나타내었다. 전체 임신기간동안 혈액내 Cortisol, Epinephrine, Norepinephrine 농도에 있어 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 26. Effect of management system on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Sows				
Gestation, 50th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.0	3.7	3.7	0.2
Epinephrine, pg/mL	40.6	34.2	32.3	2.3
Norepinephrine, pg/mL	89.5	79.2	77.7	3.8
Gestation, 108th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	3.9	3.4	3.5	0.2
Epinephrine, pg/mL	41.5	31.8	34.7	2.4
Norepinephrine, pg/mL	88.7	77.9	81.1	3.2
Weanling				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.1	3.8	3.7	0.3
Epinephrine, pg/mL	41.1	32.4	30.0	2.1
Norepinephrine, pg/mL	89.3	78.7	80.4	3.6
Piglets				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	1.1	1.2	1.1	0.2
Epinephrine, pg/mL	12.8	12.3	12.4	1.5
Norepinephrine, pg/mL	34.3	33.0	32.9	1.5

¹Abbreviation: CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

²Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 사육형태가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 27에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 27. Effect of management system on rectum temperature in sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Rectumtemperature, °C				
Gestation, 50th d	38.7	38.9	38.8	0.1
Gestation, 108th d	38.9	39.0	38.8	0.1
Weanling	38.8	38.7	39.0	0.1

¹Abbreviation:CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

²Standarderror.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 28에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 28. Effect of management system on fecal score in piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Fecalscore ³				
7 d	3.68	3.58	3.56	0.3
14 d	3.71	3.66	3.44	0.4
21 d	3.63	3.55	3.41	0.3
Weanling	3.28	3.36	3.34	0.4

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Fecalscores:1hard,drypellet;2firm,formedstool;3soft,moiststoolthatretainsshape;4soft,unformedstoolthatassumesshapeofcontainer;5wateryliquidthatcanbepoured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 29에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 29. The effects of management system on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	GM	SM	SE ²
Lactobacillus	7.67	7.66	7.66	0.08
E. coli	5.87	5.88	5.85	0.06

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

(6) 6산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 사육형태가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 30에 나타내었다. 모돈의 번식생산성에 있어 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 30. Effect of management system on growthperformance in lactating sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Parity	6	6	6	-
n	13	19	18	-
Litter				
No.ofpigs	10.8	10.9	11.1	0.5
Weaned Pigs	10.2	10.5	10.6	0.4
Body weight, kg				
Beforefarrowing ³	243.7 ^a	236.4 ^b	234.2 ^b	2.1
After farrowing	219.3 ^a	206.7 ^b	207.7 ^b	1.5
Weanling	201.7 ^a	194.9 ^b	195.8 ^b	1.9
Bodyweightloss1 ⁴	24.4	29.7	26.6	2.6
Bodyweightloss2 ⁴	17.6 ^a	11.8 ^b	11.9 ^b	1.0
ADFI, kg				
Gestation	6.55	6.55	6.55	-
Lactation	6.46 ^b	6.65 ^a	6.62 ^a	0.04
Backfat thickness, mm				
Beforefarrowing ³	19.9	20.3	20.4	0.2
After farrowing	19.5	19.7	19.9	0.3
Weanling	15.6	16.2	16.6	0.4
Backfatthicknessloss ⁵	3.9	3.6	3.3	0.3
Estrus interval, d	5.4	4.8	4.9	0.2

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Beforefarrowing:before4daysago

⁴Bodyweightloss:1,beforefarrowingtoafterfarrowing;2,afterfarrowingtoweaning.

⁵Backfatthicknessloss:afterfarrowingtoweaning.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ ($P<0.05$).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 생산성에 미치는 영향은 Table 31에 나타내었다. 포유자돈의 체중에서 1주차 체중에 있어 GM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났고 (P<0.05), 2주차 및 3주차 체중에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 (P<0.05). 포유자돈의 일당증체량에서 개시~1주, 1주~2주, 2~3주에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 (P<0.05). 그러나 자돈의 자돈의 사산율과 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05).

Table 31. Effect of management system on growthperformance in suckling piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Piglet survival, %	94.6	97.2	96.5	1.6
Body Weight, kg				
Birth Weight	1.35	1.38	1.33	0.02
1 wk	2.55 ^b	2.62 ^a	2.57 ^{ab}	0.02
2 wk	3.96 ^b	4.14 ^a	4.07 ^a	0.02
3 wk	5.79 ^b	6.02 ^a	5.96 ^a	0.06
Weanling	7.87	7.96	7.98	0.08
Average daily gain, g				
Birth to 1 wk	171 ^b	177 ^a	177 ^a	4
1 wk to 2 wk	202 ^b	217 ^a	214 ^a	5
2 wk to 3 wk	261 ^b	269 ^a	270 ^a	8
3 wk to weanling	521	486	506	14
Overall	261	263	266	7
Stillbirth, %	5.27	5.94	3.90	1.23

¹Abbreviation:CON,stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferent superscripts differ(P<0.05).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 사육형태가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도는 Table 32에 나타내었다. 임신 50일령 및 분만틀 입식전에 있어서 cortisol, ephinephrine 및 norepinephrine 농도에 있어 GM 및 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 이유시 혈액 내 norepinephrine 농도에 있어 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05).

Table 32. Effect of management system on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Sows				
Gestation, 50th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.6 ^a	3.9 ^b	3.9 ^b	0.1
Epinephrine, pg/mL	46.8 ^a	40.2 ^b	41.2 ^b	1
Norepinephrine, pg/mL	88.1 ^a	84.6 ^b	83.6 ^b	1.1
Gestation, 108th d				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	4.3 ^a	3.6 ^b	3.6 ^b	0.1
Epinephrine, pg/mL	48.8 ^a	42.9 ^b	42.4 ^b	1
Norepinephrine, pg/mL	95.8 ^a	83.2 ^b	85.4 ^b	1.1
Weanling				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	3.9	3.5	3.6	0.1
Epinephrine, pg/mL	43.0	44.6	41.0	0.8
Norepinephrine, pg/mL	88.0 ^a	83.7 ^b	83.7 ^b	1.3
Piglets				
Cortisol, $\mu\text{g}/\text{dL}$	1.1	1.2	1.1	0.07
Epinephrine, pg/mL	12.8	12.3	12.4	0.4
Norepinephrine, pg/mL	34.3	33.0	32.9	1.3

¹Abbreviation: CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

²Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 사육형태가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 33에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 33. Effect of management system on rectum temperature in sows¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Rectumtemperature, °C				
Gestation, 50th d	39.0	39.0	38.9	0.08
Gestation, 108th d	38.9	38.9	38.9	0.08
Weanling	39.1	39.1	39.0	0.08

¹Abbreviation:CON, stall management system; GM, group management system; SM, shoulder management system.

²Standarderror.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 34에 나타내었다. 14일령 포유자돈의 설사지수에 있어 SM 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$).

Table 34. Effect of management system on fecal score in piglets¹

Items	CON	GM	SM	SE ²
Fecalscore ³				
7 d	3.66	3.56	3.56	0.04
14 d	3.66 ^a	3.55 ^{ab}	3.45 ^b	0.05
21 d	3.73	3.46	3.42	0.13
Weanling	3.29	3.39	3.33	0.04

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

³Fecalscores:1hard,drypellet;2firm,formedstool;3soft,moiststoolthatretainsshape;4soft,unformedstoolthatassumesshapeofcontainer;5wateryliquidthatcanbepoured.

^{a,b}Meansinthesamerowwithdifferentsuperscriptsdiffer($P<0.05$).

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 사육형태가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 35에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 35. The effects of management system on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	GM	SM	SE ²
Lactobacillus	7.58	7.56	7.57	0.02
E. coli	5.84	5.84	5.86	0.02

¹Abbreviation:CON, stallmanagementsystem;GM,groupmanagementsystem;SM,shouldermanagementsystem.

²Standarderror.

나. 시험2. 임신중 섬유소의 추가 급여가 모돈 번식성적에 미치는 영향

(1) 1산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 36에 나타내었다. 전체 시험기간동안 모돈의 번식생산성에 있어 처리간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 36. Effect of supplementary feeding of fiber on reproductive performance in lactating sows¹

Items	CON	F	SE ²
Parity	1	1	0.0
n	40	40	
Litter			
No. of pigs	10.7	11.0	1.0
Weaned Pigs	10.2	10.6	0.9
Body weight, kg			
Before farrowing ³	214.6	216.8	2.5
After farrowing	205.4	200.3	2.4
Weanling	193.8	190.1	2.4
Body weight loss ¹⁴	21.0	22.5	1.2
Body weight loss ²⁴	11.6	10.2	1.0
ADFI, kg			
Gestation	2.58	2.53	0.08
Lactation	6.72	6.83	0.16
Backfat thickness, mm			
Before farrowing ³	20.1	20.4	0.5
After farrowing	19.9	20.2	0.4
Weanling	19.4	19.5	0.3
Backfat thickness loss ⁵	3.5	3.1	0.3
Estrus interval, d	4.8	4.7	0.3

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfatthickness loss : after farrowing to weanling.

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 37에 나타내었다. 포유자돈의 일당증체량에서 2~3주에 있어서 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 (P<0.05). 그러나 포유자돈의 체중, 사산율 및 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05).

Table 37. Effect of supplementary feeding of fiber on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Piglet survival, %	95.3	96.4	2.3
Body Weight, kg			
Birth Weight	1.41	1.43	0.06
1 wk	2.65	2.70	0.09
2 wk	4.08	4.18	0.14
3 wk	5.73	5.92	0.19
Weanling	7.47	7.71	0.20
Average daily gain, g			
Birth to 1 wk	177	182	9
1 wk to 2 wk	204	211	10
2 wk to 3 wk	236 ^b	248 ^a	8
3 wk to weanling	249	256	7
Overall	216	224	8
Stillbirth, %	7.4	6.5	2.7

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 미치는 영향은 Table 38에 나타내었다. 임신 50일령에서 혈액내 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 임신 108일령에서 cortisol 및 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 이유시 모돈 및 자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 38. Effect of supplementary feeding of fiber on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Sows			
Gestation, 50th d			
Cortisol, $\mu\text{g/dL}$	2.9	2.5	0.3
Epinephrine, pg/mL	45.6	40.8	4.1
Norepinephrine, pg/mL	87.3 ^a	79.1 ^b	7.0
Gestation, 108th d			
Cortisol, $\mu\text{g/dL}$	2.4 ^a	1.8 ^b	0.3
Epinephrine, pg/mL	30.2	27.9	1.4
Norepinephrine, pg/mL	76.3 ^a	64.7 ^b	5.9
Weanling			
Cortisol, $\mu\text{g/dL}$	3.7	3.8	0.3
Epinephrine, pg/mL	42.6	37.9	3.8
Norepinephrine, pg/mL	92.2	96.4	6.7
Piglets			
Cortisol, $\mu\text{g/dL}$	1.2	1.0	0.2
Epinephrine, pg/mL	14.2	12.8	1.4
Norepinephrine, pg/mL	36.8	33.0	2.2

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 39에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 39. Effect of supplementary feeding of fiber on rectum temperature in sows¹

Items	CON	F	SE ²
Rectum temperature, °C			
Gestation, 50th d	39.2	39.5	0.1
Gestation, 108th d	39.3	39.3	0.2
Weanling	39.7	39.4	0.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 40에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 40. Effect of supplementary feeding of fiber on fecal score in piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Fecal score ³			
7 d	3.72	3.62	0.05
14 d	3.51	3.54	0.03
21 d	3.24	3.30	0.05
Weanling	3.04	3.03	0.01

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 41에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 41. The effects of supplementary feeding of fiber on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	F	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.68	7.72	0.03
<i>E. coli</i>	5.73	5.70	0.04

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

(2) 2산차

(가) 모돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 42에 나타내었다. 모돈의 체중손실 및 등지방 손실에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 그러나 모돈의 생시두수, 이유두수, 사료섭취량 및 채취발정일에 있어서는 처리간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05)

Table 42. Effect of supplementary feeding of fiber on reproductive performance in lactating sows¹

Items	CON	F	SE ²
Parity	2	2	0.0
n	38	37	
Litter			
No. of pigs	11.2	11.8	1.1
Weaned Pigs	10.8	11.3	1.0
Body weight, kg			
Before farrowing ³	209.4	206.7	2.8
After farrowing	189.1	188.2	2.6
Weanling	177.6	178.5	2.1
Body weight loss ¹ ⁴	20.3	18.5	0.9
Body weight loss ² ⁴	11.5 ^a	9.7 ^b	1.1
ADFI, kg			
Gestation	2.62	2.52	0.08
Lactation	7.14	7.05	0.14
Backfat thickness, mm			
Before farrowing ³	23.0	23.4	0.6
After farrowing	22.8	23.3	0.5
Weanling	18.7	20.3	0.4
Backfat thickness loss ⁵	4.1 ^a	3.0 ^b	0.4
Estrus interval, d	4.6	4.4	0.2

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfatthickness loss : after farrowing to weanling.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 43에 나타내었다. 포유자돈의 체중에서 이유시 체중에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 포유자돈의 일당증체량에서 3주~이유시 및 전체시험기간동안에 있어서 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 포유자돈의 체중, 사산율 및 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 43. Effect of supplementary feeding of fiber on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Piglet survival, %	96.4	95.8	2.5
Body Weight, kg			
Birth Weight	1.43	1.47	0.04
1 wk	2.75	2.81	0.08
2 wk	4.34	4.45	0.13
3 wk	6.08	6.27	0.16
Weanling	7.88 ^b	8.15 ^a	0.18
Average daily gain, g			
Birth to 1 wk	189	192	6
1 wk to 2 wk	227	234	7
2 wk to 3 wk	248	260	9
3 wk to weanling	258 ^b	268 ^a	8
Overall	230 ^b	239 ^a	6
Stillbirth, %	7.6	6.1	2.6

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 미치는 영향은 Table 44에 나타내었다. 임신 50일령에서 혈액내 cortisol 및 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 임신 108일령에서는 혈액내 epinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 그러나 이유시 모돈 및 자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 44. Effect of supplementary feeding of fiber on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Sows			
Gestation, 50th d			
Cortisol, ug/dL	3.3 ^a	2.4 ^b	0.4
Epinephrine, pg/mL	42.5	48.4	3.5
Norepinephrine, pg/mL	93.0 ^a	82.7 ^b	6.7
Gestation, 108th d			
Cortisol, ug/dL	2.6	2.2	0.3
Epinephrine, pg/mL	33.7 ^a	24.7 ^b	3.6
Norepinephrine, pg/mL	73.6	68.2	7.7
Weanling			
Cortisol, ug/dL	3.4	3.8	0.3
Epinephrine, pg/mL	41.8	37.3	4.8
Norepinephrine, pg/mL	87.1	86.7	6.5
Piglets			
Cortisol, ug/dL	1.4	1.1	0.2
Epinephrine, pg/mL	15.3	12.7	1.6
Norepinephrine, pg/mL	42.5	39.3	2.5

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 45에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 45. Effect of supplementary feeding of fiber on rectum temperature in sows¹

Items	CON	F	SE ²
Rectum temperature, °C			
Gestation, 50th d	39.4	39.5	0.1
Gestation, 108th d	39.3	39.2	0.1
Weanling	39.3	39.4	0.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 46에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 46. Effect of supplementary feeding of fiber on fecal score in piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Fecal score ³			
7 d	3.71	3.75	0.04
14 d	3.60	3.58	0.04
21 d	3.33	3.35	0.02
Weanling	3.04	3.06	0.02

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 47에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 47. The effects of supplementary feeding of fiber on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	F	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	5.73	5.71	0.03
<i>E. coli</i>	7.74	7.78	0.04

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

²Standard error.

(3) 3산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 48에 나타내었다. 전체 시험기간동안 모돈의 번식생산성에 있어 처리간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 48. Effect of supplementary feeding of fiber on reproductive performance in lactating sows¹

Items	CON	F	SE ²
Parity	3	3	0.0
n	36	35	
Litter			
No. of pigs	11.3	11.1	1.0
Weaned Pigs	10.6	10.6	0.9
Body weight, kg			
Before farrowing ³	218.1	217.3	2.6
After farrowing	195.1	195.0	2.4
Weanling	182.0	184.1	2.2
Body weight loss ⁴	23.0	22.3	1.3
Body weight loss ²	12.1	10.9	1.1
ADFI, kg			
Gestation	2.62	2.48	0.07
Lactation	6.76	6.62	0.22
Backfat thickness, mm			
Before farrowing ³	23.1	23.3	0.5
After farrowing	23.0	23.0	0.4
Weanling	19.2	19.5	0.3
Backfat thickness loss ⁵	3.8	3.5	0.3
Estrus interval, d	4.6	4.8	0.2

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfat thickness loss : after farrowing to weanling.

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 49에 나타내었다. 포유자돈의 일당증체량에서 3주~이유시에 있어서 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 그러나 포유자돈의 체중, 사산율 및 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 49. Effect of supplementary feeding of fiber on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Piglet survival, %	93.8	95.5	2.3
Body Weight, kg			
Birth Weight	1.45	1.44	0.06
1 wk	2.74	2.75	0.09
2 wk	4.22	4.26	0.14
3 wk	5.84	5.92	0.19
Weanling	7.53	7.73	0.20
Average daily gain, g			
Birth to 1 wk	184	187	7
1 wk to 2 wk	212	216	8
2 wk to 3 wk	231	237	8
3 wk to weanling	242 ^b	258 ^a	7
Overall	217	225	6
Stillbirth, %	6.2	5.1	1.8

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 미치는 영향은 Table 50에 나타내었다. 임신 50일령에서 혈액내 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 임신 108일령에서 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 이유시 모돈 및 자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 50. Effect of supplementary feeding of fiber on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Sows			
Gestation, 50th d			
Cortisol, ug/dL	2.4	2.1	0.3
Epinephrine, pg/mL	43.6	42.8	4.1
Norepinephrin, pg/mL	81.3 ^a	75.1 ^b	7.0
Gestation, 108th d			
Cortisol, ug/dL	2.8 ^a	2.2 ^b	0.3
Epinephrine, pg/mL	36.2 ^a	29.9 ^b	1.4
Norepinephrin, pg/mL	76.3 ^a	64.7 ^b	5.9
Weanling			
Cortisol, ug/dL	3.2	2.8	0.3
Epinephrine, pg/mL	42.6	39.9	3.8
Norepinephrin, pg/mL	92.2	96.4	6.7
Piglets			
Cortisol, ug/dL	1.0	0.8	0.2
Epinephrine, pg/mL	15.2	14.8	1.4
Norepinephrin, pg/mL	34.8	32.0	2.2

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 51에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 51. Effect of supplementary feeding of fiber on rectum temperature in sows¹

Items	CON	F	SE ²
Rectum temperature, °C			
Gestation, 50th d	39.1	39.0	0.1
Gestation, 108th d	39.3	39.1	0.2
Weanling	38.9	38.8	0.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 52에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 52. Effect of supplementary feeding of fiber on fecal score in piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Fecal score ³			
7 d	3.54	3.50	0.05
14 d	3.42	3.35	0.03
21 d	3.18	3.13	0.05
Weanling	3.02	3.00	0.01

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 53에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 53. The effects of supplementary feeding of fiber on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	F	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.73	7.78	0.03
<i>E. coli</i>	5.62	5.58	0.04

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

(4) 4산차

(가) 모돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 54에 나타내었다. 전체 시험기간동안 모돈의 번식생산성에 있어 처리간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 54. Effect of supplementary feeding of fiber on reproductive performance in lactating sows¹

Items	CON	F	SE ²
Parity	4	4	0.0
n	33	34	
Litter			
No. of pigs	11.3	11.6	1.1
Weaned Pigs	10.9	11.3	1.0
Body weight, kg			
Before farrowing ³	217.4	216.7	2.7
After farrowing	196.0	195.9	2.6
Weanling	184.7	185.2	2.3
Body weight loss ¹⁴	21.4	20.8	0.9
Body weight loss ²⁴	11.3	10.7	1.1
ADFI, kg			
Gestation	2.62	2.52	0.08
Lactation	7.14	7.05	0.14
Backfat thickness, mm			
Before farrowing ³	23.0	23.4	0.6
After farrowing	22.8	23.3	0.5
Weanling	18.7	20.3	0.4
Backfat thickness loss ⁵	4.1 ^a	3.0 ^b	0.4
Estrus interval, d	4.6	4.4	0.2

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfat thickness loss : after farrowing to weanling.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 55에 나타내었다. 포유자돈의 체중에서 이유시 체중에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 포유자돈의 일당증체량에서 0주~1주 및 전체시험기간동안에 있어서 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 그러나 포유자돈의 체중, 사산율 및 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 55. Effect of supplementary feeding of fiber on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Piglet survival, %	96.5	97.4	3.0
Body Weight, kg			
Birth Weight	1.40	1.45	0.04
1 wk	2.65	2.79	0.08
2 wk	4.19	4.37	0.13
3 wk	5.86	6.06	0.16
Weanling	7.62 ^b	7.88 ^a	0.18
Average daily gain, g			
Birth to 1 wk	179 ^b	192 ^a	5
1 wk to 2 wk	220	225	6
2 wk to 3 wk	238	242	8
3 wk to weanling	252	260	8
Overall	222 ^b	230 ^a	5
Stillbirth, %	5.2	4.8	1.6

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 미치는 영향은 Table 56에 나타내었다. 임신 50일령에서 혈액내 cortisol 및 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 임신 108일령에서는 혈액내 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 그러나 이유시 모돈 및 자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (P>0.05).

Table 56. Effect of supplementary feeding of fiber on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Sows			
Gestation, 50th d			
Cortisol, ug/dL	3.2 ^a	2.3 ^b	0.3
Epinephrine, pg/mL	47.5	42.4	3.4
Norepinephrine, pg/mL	95.0 ^a	81.2 ^b	5.2
Gestation, 108th d			
Cortisol, ug/dL	2.8	2.6	0.3
Epinephrine, pg/mL	33.5	30.2	2.5
Norepinephrine, pg/mL	83.5 ^a	71.3 ^b	7.8
Weanling			
Cortisol, ug/dL	3.3	3.5	0.3
Epinephrine, pg/mL	43.5	39.2	5.6
Norepinephrine, pg/mL	75.1	72.3	4.2
Piglets			
Cortisol, ug/dL	0.8	0.7	0.1
Epinephrine, pg/mL	13.5	11.9	1.8
Norepinephrine, pg/mL	43.2	40.8	2.9

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ (P<0.05).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 57에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 57. Effect of supplementary feeding of fiber on rectum temperature in sows¹

Items	CON	F	SE ²
Rectum temperature, °C			
Gestation, 50th d	39.1	39.2	0.1
Gestation, 108th d	39.0	39.0	0.1
Weanling	38.9	38.8	0.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 58에 나타내었다. 전체 시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 58. Effect of supplementary feeding of fiber on fecal score in piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Fecal score ³			
7 d	3.74	3.72	0.04
14 d	3.42	3.40	0.04
21 d	3.18	3.15	0.02
Weanling	3.05	3.03	0.02

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 59에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 59. The effects of supplementary feeding of fiber on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	F	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.83	7.78	0.03
<i>E. coli</i>	5.52	5.50	0.04

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

²Standard error.

(5) 5산차

(가) 모돈의 번식생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 60에 나타내었다. 전체 시험기간동안 모돈의 번식생산성에 있어 처리간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 60. Effect of supplementary feeding of fiber on reproductive performance in lactating sows¹

Items	CON	F	SE ²
Parity	5	5	0.0
n	29	30	
Litter			
No. of pigs	10.9	11.2	0.9
Weaned Pigs	10.6	10.9	0.8
Body weight, kg			
Before farrowing ³	226.4	222.8	2.3
After farrowing	195.1	195.0	2.4
Weanling	182.0	184.1	2.2
Body weight loss ⁴	25.1	25.8	1.3
Body weight loss ²	13.2	12.6	1.0
ADFI, kg			
Gestation	2.62	2.48	0.07
Lactation	6.76	6.62	0.22
Backfat thickness, mm			
Before farrowing ³	23.1	23.3	0.5
After farrowing	23.0	23.0	0.4
Weanling	19.2	19.5	0.3
Backfat thickness loss ⁵	3.8	3.5	0.3
Estrus interval, d	4.6	4.8	0.2

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfat thickness loss : after farrowing to weanling.

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 61에 나타내었다. 포유자돈의 일당증체량에서 3주~이유시에 있어서 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 그러나 포유자돈의 체중, 사산율 및 폐사율에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 61. Effect of supplementary feeding of fiber on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Piglet survival, %	97.2	97.3	2.3
Body Weight, kg			
Birth Weight	1.38	1.36	0.05
1 wk	2.58	2.56	0.08
2 wk	4.04	4.00	0.13
3 wk	5.62	5.67	0.17
Weanling	7.27	7.37	0.18
Average daily gain, g			
Birth to 1 wk	172	177	6
1 wk to 2 wk	208	205	6
2 wk to 3 wk	226	239	7
3 wk to weanling	235 ^b	242 ^a	5
Overall	210	215	4
Stillbirth, %	6.9	5.8	2.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 미치는 영향은 Table 62에 나타내었다. 분만틀 입식전에서 cortisol 및 epinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 그러나 이유시 모돈 및 자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P<0.05$).

Table 62. Effect of supplementary feeding of fiber on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Sows			
Gestation, 50th d			
Cortisol, ug/dL	2.5	2.3	0.2
epinephrine, pg/mL	48.2	47.4	4.8
Norepinephrine, pg/mL	88.5	84.2	5.6
Gestation, 108th d			
Cortisol, ug/dL	2.9 ^a	2.3 ^b	0.3
epinephrine, pg/mL	43.2 ^a	35.3 ^b	2.5
Norepinephrine, pg/mL	78.1	65.0	5.3
Weanling			
Cortisol, ug/dL	3.2	3.1	0.2
epinephrine, pg/mL	40.1	38.9	3.8
Norepinephrine, pg/mL	83.3	82.5	7.2
Piglets			
Cortisol, ug/dL	1.1	0.9	0.2
epinephrine, pg/mL	13.7	13.4	1.5
Norepinephrine, pg/mL	35.1	34.4	3.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 63에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 63. Effect of supplementary feeding of fiber on rectum temperature in sows¹

Items	CON	F	SE ²
Rectum temperature, °C			
Gestation, 50th d	38.9	39.0	0.1
Gestation, 108th d	39.1	39.1	0.1
Weanling	38.9	39.0	0.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 64에 나타내었다. 전체시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 64. Effect of supplementary feeding of fiber on fecal score in piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Fecal score ³			
7 d	3.72	3.70	0.04
14 d	3.68	3.65	0.04
21 d	3.27	3.22	0.03
Weanling	3.03	3.04	0.01

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 65에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 65. The effects of supplementary feeding of fiber on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	F	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.83	7.82	0.07
<i>E. coli</i>	5.54	5.57	0.05

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder).

² Standard error.

(6) 6산차

(가) 모돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 66에 나타내었다. 전체 시험기간동안 모돈의 번식생산성에 있어 처리간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 66. Effect of supplementary feeding of fiber on reproductive performance in lactating sows¹

Items	CON	F	SE ²
Parity	6	6	-
n	27	28	
Litter			
No. of pigs	10.2	10.4	1.1
Weaned Pigs	9.7	10.0	1.0
Body weight, kg			
Before farrowing ³	223.8	228.5	3.8
After farrowing	200.5	205.7	3.2
Weanling	187.3	192.2	3.5
Body weight loss ⁴	23.3	22.8	1.4
Body weight loss ²	13.2	13.5	1.3
ADFI, kg			
Gestation	2.62	2.58	0.06
Lactation	6.72	6.83	0.10
Backfat thickness, mm			
Before farrowing ³	19.4	19.7	0.7
After farrowing	19.3	19.5	0.7
Weanling	15.6	16.1	0.5
Backfat thickness loss ⁵	3.7	3.4	0.5
Estrus interval, d	4.8	5.0	0.3

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Before farrowing : before 4 days ago

⁴ Body weight loss : 1, before farrowing to after farrowing; 2, after farrowing to weanling.

⁵ Backfat thickness loss : after farrowing to weanling.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(나) 포유자돈의 생산성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 번식생산성에 미치는 영향은 Table 67에 나타내었다. 포유자돈의 체중에서 이유시 체중에 있어 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 67. Effect of supplementary feeding of fiber on growth performance in suckling piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Piglet survival, %	95.1	96.2	3.0
Body Weight, kg			
Birth Weight	1.32	1.35	0.05
1 wk	2.58	2.57	0.07
2 wk	4.08	4.11	0.15
3 wk	5.70	5.75	0.20
Weanling	7.35	7.49	0.19
Average daily gain, g			
Birth to 1 wk	180	174	7
1 wk to 2 wk	214	220	5
2 wk to 3 wk	231	235	5
3 wk to weanling	237	248	6
Overall	215	219	4
Stillbirth, %	7.0	6.8	1.8

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

(다) 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈 및 포유자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 미치는 영향은 Table 68에 나타내었다. 임신 50일령에서 혈액내 cortisol, epinephrine 및 norepinephrine 농도에 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 임신 108일령에서는 혈액내 cortisol 및 norepinephrine 농도에 있어 F 처리구가 CON 처리구보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 그러나 이유시 모돈 및 자돈의 혈액내 스트레스관련 물질 농도에 있어서는 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 68. Effect of supplementary feeding of fiber on blood profiles in sows and piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Sows			
Gestation, 50th d			
Cortisol, ug/dL	2.7 ^a	2.0 ^b	0.3
epinephrine, pg/mL	43.6 ^a	39.1 ^b	4.0
Norepinephrine, pg/mL	97.5 ^a	78.4 ^b	7.8
Gestation, 108th d			
Cortisol, ug/dL	3.3 ^a	2.5 ^b	0.3
epinephrine, pg/mL	38.2	35.7	3.2
Norepinephrine, pg/mL	88.1 ^a	73.9 ^b	6.5
Weanling			
Cortisol, ug/dL	3.0	3.3	0.3
epinephrine, pg/mL	39.8	37.2	3.0
Norepinephrine, pg/mL	78.4	75.2	3.3
Piglets			
Cortisol, ug/dL	0.9	0.7	0.1
epinephrine, pg/mL	12.8	12.1	1.2
Norepinephrine, pg/mL	40.4	41.5	2.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

^{a,b}Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

(라) 모돈의 직장온도

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 모돈의 직장온도에 미치는 영향은 Table 69에 나타내었다. 전체시험기간동안 모돈의 직장온도에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 69. Effect of supplementary feeding of fiber on rectum temperature in sows¹

Items	CON	F	SE ²
Rectum temperature, °C			
Gestation, 50th d	39.0	39.0	0.1
Gestation, 108th d	39.1	39.0	0.1
Weanling	38.9	38.9	0.1

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(마) 포유자돈의 설사지수

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 70에 나타내었다. 전체 시험기간동안 포유자돈의 설사지수에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

Table 70. Effect of supplementary feeding of fiber on fecal score in piglets¹

Items	CON	F	SE ²
Fecal score ³			
7 d	3.63	3.58	0.05
14 d	3.33	3.35	0.05
21 d	3.08	3.05	0.01
Weanling	3.02	3.01	0.01

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

² Standard error.

³ Fecal scores : 1 hard, dry pellet; 2 firm, formed stool; 3 soft, moist stool that retains shape; 4 soft, unformed stool that assumes shape of container; 5 watery liquid that can be poured.

(바) 포유자돈의 분내 미생물 조성

- 임신단계 섬유소의 추가 급여가 포유자돈의 설사지수에 미치는 영향은 Table 71에 나타내었다. 포유자돈의 미생물 조성에 있어서 처리구간 유의적인 차이를 나타내지 않았다 ($P < 0.05$).

Table 71. The effects of supplementary feeding of fiber on fecal microflora in piglets¹

Items, log ₁₀ cfu/g	CON	F	SE ²
<i>Lactobacillus</i>	7.54	7.50	0.05
<i>E. coli</i>	5.64	5.60	0.03

¹ Abbreviation : CON, basal diet; F, basal diet (adding enough fiber in another feeder)

²Standard error.

다. 연구 결론

- 솔더 시스템을 이용한 모돈 사육이 번식성적에 미치는 영향에 대한 결과로 솔더 시스템이 선진국형 사육시스템인 전자식 모돈 자동 급이기를 이용한 군사 사육과 비교하여 유의적인 차이를 나타내지 않았고 ($P > 0.05$), 스톨사육과 비교하여 스트레스 호르몬인 Cortisol, Epinephrine, Norepinephrine의 저감 ($P < 0.05$)과 포유자돈의 성장성이 향상 ($P < 0.05$) 되었으며, 모돈의 경제적 수명이 개선되는 효과를 나타내었다.
- 임신기 섬유소의 추가적인 급여가 번식성적에 미치는 영향에 대한 결과는 임신기 섬유소의 추가적인 급여가 모돈의 스트레스를 저감 ($P < 0.05$)할 수 있는 것으로 규명하였다.
- 결론적으로 한국형 모돈사육시스템인 솔더 시스템의 사용시 스트레스 저감과 자돈의 성장성 향상 및 모돈의 경제적 수명을 개선시켜주고 추가적인 섬유소의 이용을 통하여 모돈의 복지사육을 실현시키는 것이 가능할 것으로 판단된다.

2. 제 1 협동 : 에너지 저감형 돈사 모델 개발

가. 1차년도 : 태양열을 활용한 에너지 저감형 친환경 돈사 모델개발

(1) 가축의 최적 사양관리 조건 탐색

가) 온도 및 습도

1) 포유자돈

Day	Weight (kg)	Normal temperature (°C)	Critical temperature (°C)			House temperature (°C)
			Optimal critical temperature	Optimal temperature	Maximum critical temperature	
Birth	1.4	35	35	37	41	
2	1.5	33				
3	1.7	31				
4	1.8	30	29	30	35	Sow : 16~20°C
5	2	29				
6		28				Humidity: 50~60%
7	~	27				
8~14	5.5	26	25	26	30	
15~20		25				

2) 이유자돈

Weeks	Weight (kg)	Optimal Temperature (°C)	Adequate Temperature (°C)	House temperature (°C)	Humidity (%RH)	Accretion
weaning ~7	5.5~13.5	25	24~30	20~25	50~60	Using the heating system
7~9	13.5~23	23	21~27			

3) 육성 및 비육돈

Weeks	Weight (kg)	Optimal Temperature (°C)	Adequate Temperature (°C)	House temperature (°C)	Humidity (%RH)	비고
10~17	28~60	20	15~22	15~20	15~20	House temperature must maintain above of minimum 15°C
~23	100	16	15~20			

나) 환기량

1) 포유자돈

Step	Temperature	Type	Minimum Flow Rate		Optimum Flow Rate		Function	Accretion
			CMH	CFM	CMH	CFM		
Maternity barn	Low	Whole Slurry-type	17.0	10.0	59.5	35.0	Control of malodor	Work
		Part Slurry-type	28.9	17.0	59.5	35.0		
		Concrete	34.0	20.0	59.5	35.0		
	Middle	Whole Slurry-type	17.0	10.0	135.9	80.0	Control of malodor, Keep optimal temperature	Above of adequate temperature
		Part Slurry-type	28.9	17.0	135.9	80.0		
		Concrete	34.0	20.0	135.9	80.0		
	High	Whole Slurry-type	17.0	10.0	552.2	325.0	Control of malodor, Acceleration wind speed	High temperature
		Part Slurry-type	28.9	17.0	701.7	413.0		
		Concrete	34.0	20.0	849.5	500.0		

2) 이유자돈

Step	Temperature	Type	Minimum Flow Rate		Optimum Flow Rate		Function	Accretion
			CMH	CFM	CMH	CFM		
Post-weaning (5.4~ 13.5 kg)	Low	Whole Slurry-type	1.7	1.0	5.9	3.5	Control of malodor	Work
		Part Slurry-type	2.7	1.6	5.9	3.5		
		Concrete	3.4	2.0	5.9	3.5		
	Middle	Whole Slurry-type	1.7	1.0	17.0	10.0	Control of malodor, Keep optimal temperature	Above of adequate temperature
		Part Slurry-type	2.7	1.6	17.0	10.0		
		Concrete	3.4	2.0	17.0	10.0		
	High	Whole Slurry-type	1.7	1.0	42.5	25.0	Control of malodor, Acceleration wind speed	High temperature
		Part Slurry-type	2.7	1.6	42.5	25.0		
		Concrete	3.4	2.0	45.5	25.0		
Piglet (13.5~ 31.75 kg)	Low	Whole Slurry-type	2.5	1.5	8.5	5.0	Control of malodor	Work
		Part Slurry-type	4.2	2.5	8.5	5.0		
		Concrete	5.1	3.0	8.5	5.0		
	Middle	Whole Slurry-type	2.5	1.5	25.5	15.0	Control of malodor, Keep optimal temperature	Above of adequate temperature
		Part Slurry-type	4.2	2.5	25.5	15.0		
		Concrete	5.1	3.0	25.5	15.0		
	High	Whole Slurry-type	2.5	1.5	59.5	35.0	Control of malodor, Acceleration wind speed	High temperature
		Part Slurry-type	4.2	2.5	59.5	35.0		
		Concrete	5.1	3.0	59.5	35.0		

3) 육성 및 비육돈

Step	Temperature	Type	Minimum Flow Rate		Optimum Flow Rate		Function	Accretion
			CMH	CFM	CMH	CFM		
			<hr/>					
Growing (34~ 68 kg)	Low	Whole Slurry-type	5.9	3.5	17.0	10.0	Control of malodor	Work
		Part Slurry-type	9.3	5.5	17.0	10.0		
		Concrete	11.9	7.0	17.0	10.0		
	Middle	Whole Slurry-type	5.9	3.5	40.8	24.0	Control of malodor, Keep optimal temperature	Above of adequate temperature
		Part Slurry-type	9.3	5.5	40.8	24.0		
		Concrete	11.9	7.0	40.8	24.0		
	High	Whole Slurry-type	5.9	3.5	127.4	75.0	Control of malodor, Acceleration wind speed	High temperature
		Part Slurry-type	9.3	5.5	127.4	75.0		
		Concrete	11.9	7.0	127.4	75.0		
Finishing (68~ 100 kg)	Low	Whole Slurry-type	8.5	5.0	30.6	18.0	Control of malodor	Work
		Part Slurry-type	13.6	8.0	30.6	18.0		
		Concrete	17.0	10.0	30.6	18.0		
	Middle	Whole Slurry-type	8.5	5.0	59.5	35.0	Control of malodor, Keep optimal temperature	Above of adequate temperature
		Part Slurry-type	13.6	8.0	59.5	35.0		
		Concrete	17.0	10.0	59.5	35.0		
	High	Whole Slurry-type	8.5	5.0	203.9	120.0	Control of malodor, Acceleration wind speed	High temperature
		Part Slurry-type	13.6	8.0	203.9	120.0		
		Concrete	17.0	10.0	203.9	120.0		

(2) 양돈농가 전기 사용량 및 요금조사

- 전기사용량 및 사용요금의 조사를 위하여 양돈농가 총 15곳을 조사하였다. 양돈 사육 두수 1,000두 미만, 1,000~2,000두, 2,000두 이상으로 농가를 3개 그룹으로 나누어 전기 사용량 및 요금을 조사하였다. 1,000두 미만 규모의 양돈농가는 1마리당 1년에 63~83 kWh의 전기를 사용하였으며, 두당 연간 3,108~4,654원의 전기요금이 발생하였다. 1,000~2,000두 규모의 양돈농가는 1마리당 1년에 97~105 kWh의 전기를 사용하였으며, 두당 연간 4,689~4,986원의 전기요금이 발생하였다. 2,000두 이상 규모의 양돈농가는 1마리당 1년에 121~145 kWh의 전기를 사용하였으며, 두당 연간 6,223~7,150원의 전기요금이 발생하였다. 농가규모가 클수록 1마리당 전기사용량이 증가하는 원인은 규모가 큰 농가 일수록 보유하고 있는 부대시설이 많아지기 때문에 전기사용량이 증가하는 것으로 추정된다.

표 5. 1,000두 미만 양돈농가의 두당 연간 전기 사용량 및 요금 (kWh, 원)

Farm	Number of heads	2010 Year		2011 Year		2012 Year	
		Electric energy	Electric charge	Electric energy	Electric charge	Electric energy	Electric charge
A	900	36,161	1,632,990	39,961	1,793,270	47,573	2,223,910
B	600	7,260	442,650	7,508	452,250	7,987	477,500
C	500	162,043	7,972,770	238,085	14,160,420	196,914	7,692,830
D	950	5,222	286,090	2,120	159,140	2,208	144,840
E	900	61,072	2,837,620	69,727	3,194,370	74,893	3,511,150
F	500	2,670	346,400	2,600	484,460	2,277	280,200
Average	725	45,738	2,253,087	60,000	3,373,985	55,309	2,388,405
Average/Heads		63	3,108	83	4,654	76	3,294

표 6. 1,000~2,000두 양돈농가의 두당 연간 전기 사용량 및 요금 (kWh, 원)

Farm	Number of heads	2010 Year		2011 Year		2012 Year	
		Electric energy	Electric charge	Electric energy	Electric charge	Electric energy	Electric charge
G	1,300	141,378	7,277,210	127,934	6,079,160	131,351	6,132,080
H	1,300	82,206	4,083,250	78,379	4,043,500	51,342	2,694,380
I	1,500	108,432	5,416,480	139,199	7,703,010	145,458	6,894,770
J	1,700	117,740	5,470,190	132,555	6,584,090	184,480	8,945,830
K	1,300	236,153	1,045,770	228,022	10,663,490	231,024	10,736,390
Average	1,420	137,182	6,658,580	141,218	7,014,650	148,731	7,080,690
Average/Heads		97	4,689	99	4,940	105	4,986

표 7. 2,000두 이상 양돈농가의 두당 연간 전기 사용량 및 요금 (kWh, 원)

Farm	Number of heads	2010 Year		2011 Year		2012 Year	
		Electric energy	Electric charge	Electric energy	Electric charge	Electric energy	Electric charge
L	2,000	64,236	3,386,710	50,983	2,840,550	52,000	2,926,370
M	2,700	286,382	14,074,230	266,185	12,334,930	258,041	12,226,570
N	4,500	733,629	38,201,930	739,148	33,618,550	759,875	35,228,950
O	7,500	937,160	48,264,020	1,166,098	61,957,110	1,354,744	69,021,220
Average	4,175	505,352	25,981,723	555,604	27,687,785	606,165	29,850,778
Average/Heads		121	6,223	133	6,632	145	7,150

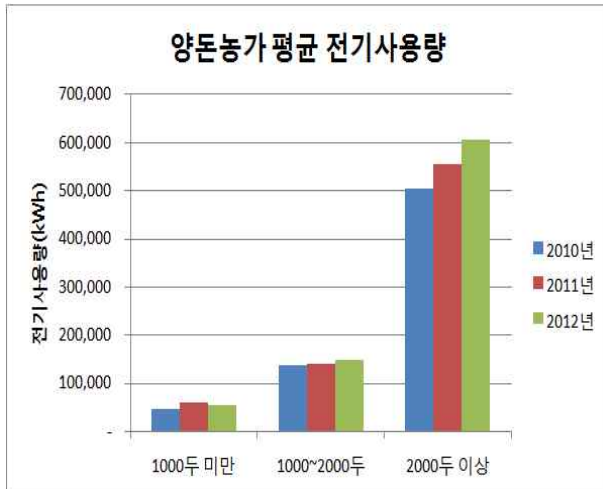


그림 6. 양돈농가 평균 전기사용량

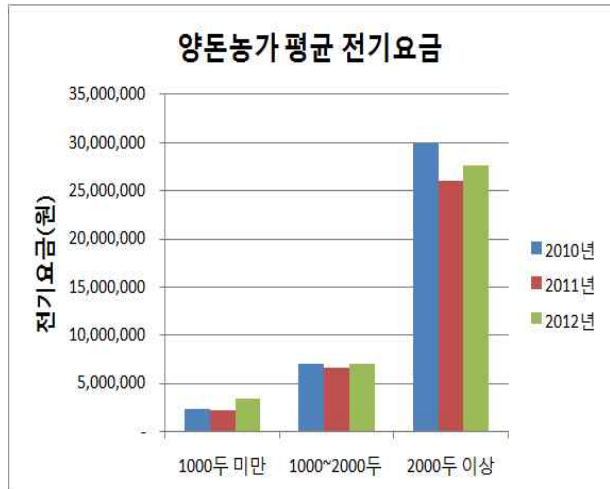


그림 7. 양돈농가 평균 전기요금

(3) 양돈농가의 이산화탄소 발생량조사

- 양돈농가의 이산화탄소 발생량 결과는 표 8에 나타나 있다. 양돈농가의 조사된 전력사용량을 가지고 이산화탄소 발생량을 조사하였다. 이산화탄소 발생량은 Sovacool (2008)의 연구결과를 바탕으로 전기 1kW당 이산화탄소 발생량을 66 g CO_{2e}발생으로 계산하여 이산화탄소 발생량을 조사하였다. 시간이 지날수록 전력사용량이 증가하여 이산화탄소 발생량도 증가하고 있는 실정이다.

표 8. 농가규모별 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량 (g CO_{2e})

Heads	Year	2010	2011	2012
~1,000		3,018,708	3,960,011	3,650,372
1,000~2,000		9,053,999	9,320,375	9,816,246
2,000~		33,353,216	36,669,831	40,006,890

(4) 태양열 돈사의 집열판 및 온수 저장탱크 입·출구 온도측정

- 태양열 돈사의 2013년 9월 10일~2013년 9월 24일 (2주)까지 측정한 집열판 및 온수저장탱크의 입·출구 온도는 표 9에 나타나 있다. 집열판은 주간(8:00~20:00)의 경우 최대 111.3℃가 유지되었으며, 최소 16.45℃가 유지되었다. 야간(20:00~8:00)의 경우 최대 80.5℃가 유지되었으며, 최소 17.19℃가 유지되었다. 온수저장탱크는 주간(8:00~20:00)의 경우 최대 86.6℃가 유지 되었으며, 최소 23.77℃가 유지되었다. 야간(20:00~8:00)의 경우 최대 84.7℃가 유지되었으며, 최소 24.80℃가 유지되었다.

표 9. 태양열 돈사의 집열판 및 온수 저장탱크 입·출구 온도 (℃)

Treatment		Way in	Way out	
Solar panel	Day time (8:00~20:00)	Max	92.70	111.30
		Min	16.68	16.45
		Average	60.35	69.57
	Night time (8:00~20:00)	Max	80.50	79.90
		Min	17.20	17.19
		Average	42.77	42.90
Hot water storage tank	Day time (8:00~20:00)	Max	68.14	86.60
		Min	23.77	24.18
		Average	45.23	56.71
	Night time (8:00~20:00)	Max	63.16	84.70
		Min	24.80	24.89
		Average	44.04	51.78

(5) 태양열 돈사의 집열판 및 온수 저장탱크 유량조사

- 태양열 돈사의 2013년 9월 17일~2013년 9월 24일 (1주)까지 측정한 집열판 및 온수 저장탱크 유량 측정결과는 표 10에 나타나 있다. 집열판 및 온수저장탱크에 연결되어 있는 순환펌프는 설정된 온도보다 높아지거나 낮아지면 순환펌프가 연결되지 않도록 컨트롤러가 설치되어있다. 따라서 주간과 야간으로 나누어 집열판과 온수저장탱크의 유량을 측정하였다. 집열판은 주간(8:00~20:00)의 경우 최대 717.6 L/h가 측정되었으며 최소 377.3 L/h가 측정되었다. 주간(8:00~20:00)의 평균유량은 656.2 L/h가 측정되었다. 야간(20:00~8:00)의 경우 최대 624.6 L/h가 측정되었으며, 최소 1.4 L/h가 측정되었다. 야간(20:00~8:00)의 평균유량은 428.8 L/h가 측정되었다. 온수저장탱크는 주간(8:00~20:00)의 경우 최대 67.3 L/h가 측정되었으며, 최소 25.8 L/h가 측정되었다. 주간(8:00~20:00)의 평균유량은 53.3 L/h가 측정되었다. 야간(20:00~8:00)의 경우 최대 216.0 L/h가 측정되었으며, 최소 147.4 L/h가 측정되었다. 야간(20:00~8:00)의 평균유량은 170.5 L/h가 측정되었다.

표 10. 태양열 돈사의 집열판 및 온수 저장탱크 유량 (L/h)

Treatment		Solar panel	Hot water storage tank
Day time (8:00~20:00)	Max	717.6	67.3
	Min	377.3	25.8
	Average	656.2	53.3
Night time (20:00~8:00)	Max	624.6	216.0
	Min	1.4	147.4
	Average	428.8	170.5

(6) 태양열 인큐베이터 돈사 내부의 2주간 평균 온도조사

- 태양열 인큐베이터 돈사 내부는 2013년 9월 10일~2013년 9월 24일 (2주)까지 측정된 평균 온도 결과는 표 11에 나타나 있다.

표 11. 태양열 인큐베이터 돈사 내부의 2주간 평균 온도 (°C)

Treatment		Control	Solar energy	Gap	
Day time (8:00~20:00)	Upper	Entry	30.42	30.32	-0.10
		Center	30.67	30.82	+0.15
		Inside	30.41	30.81	+0.40
		Average	30.50	30.65	+0.15
	Bottom	Entry	30.78	30.38	-0.40
		Center	30.57	30.69	+0.12
		Inside	30.21	31.18	+0.97
		Average	30.52	30.75	+0.23
	Average		30.51	30.70	+0.19
	Night time (20:00~8:00)	Upper	Entry	28.07	28.18
Center			28.74	28.50	-0.24
Inside			28.19	28.38	+0.19
Average			28.33	28.36	+0.03
Bottom		Entry	28.32	28.84	+0.42
		Center	28.38	28.22	-0.16
		Inside	27.89	28.96	+1.07
		Average	28.20	28.67	+0.47
Average		28.27	28.52	+0.25	

인큐베이터 돈사 내부온도는 2주 동안 24시간 기록되었으며, 8시를 기점으로 주간과 야간으로 나누었다. 온도측정 위치는 상단부와 하단부로 나누어 측정되었으며, 돈사별로 6곳에서 측정하였다. 주간에서 상단부의 경우 대조구에서 평균 30.50℃, 태양열 인큐베이터 돈사에서 평균 30.65℃로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.15℃ 높게 측정되었다. 하단부의 경우 대조구에서 평균 30.52℃, 태양열 인큐베이터 돈사에서 평균 30.75℃로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.23℃ 높게 측정되었다. 야간에서 상단부의 경우 대조구에서 평균 28.33℃, 태양열 인큐베이터 돈사에서 평균 28.36℃로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.03℃ 높게 측정되었다. 하단부의 경우 대조구에서 평균 28.20℃, 태양열 인큐베이터 돈사에서 28.67℃로 측정되어 태양열 인큐베이터 돈사에서 0.47℃ 높게 측정되었다.

(7) 태양열 인큐베이터 돈사가 자돈의 사육성적에 미치는 영향

- 태양열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 분석한 결과는 표 12에 나타나 있다.

표 12. 태양열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육성적

Treatment	Control	Solar energy
0~1 Weeks		
Initial Weight (kg)	7.92	7.93
Final Weight (kg)	9.64	9.74
Weight gain (kg)	1.72	1.81
Feed intake (kg)	2.37	2.14
FCR (Feed/Gain)	1.38	1.18
1~2 Weeks		
Initial Weight (kg)	9.64	9.74
Final Weight (kg)	11.13	11.26
Weight gain (kg)	1.50	1.85
Feed intake (kg)	3.33	3.22
FCR (Feed/Gain)	1.84	1.74
0~2 Weeks		
Initial Weight (kg)	7.88	8.03
Final Weight (kg)	11.13	11.26
Weight gain (kg)	3.87	3.99
Feed intake (kg)	5.09	4.93
FCR (Feed/Gain)	1.32	1.24

0~1주간의 실험기간 중 증체량은 태양열 인큐베이터 돈사에서 1.81 kg으로 대조구 1.72 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 2.37 kg으로 태양열 인큐베이터 돈사 2.14 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.38으로 태양열 인큐베이터 돈사 1.18보다 높게 나타났다. 1~2주간의 실험기간 중 증체량은 태양열 인큐베이터 돈사에서 1.85 kg으로 대조구 1.50 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 3.33 kg으로 태양열 인큐베이터 3.22 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.84로 태양열 인큐베이터 돈사 1.74보다 높게 나타났다. 0~2주간의 실험기간 중 증체량은 태양열 인큐베이터 돈사에서 3.99 kg으로 대조구 3.87 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 5.09 kg으로 태양열 인큐베이터 돈사 4.93 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.32로 태양열 인큐베이터 돈사 1.24보다 높게 나타났다.

(8) 태양열 인큐베이터 돈사의 자돈 경제성 분석

- 태양열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 경제성 분석한 결과는 표 13에 나타나 있다. 0~1주간의 실험기간 중 사료비는 대조구는 마리당 43,642.5원, 태양열 인큐베이터 돈사에는 마리당 37,317.5원으로 14.5% 절감되었다. 1~2주간의 실험기간 중 사료비는 대조구는 마리당 58,190원, 태양열 인큐베이터 돈사에는 마리당 55,027.5원으로 5.4% 절감되었다. 0~2주간의 실험기간 중 사료비는 대조구는 마리당 41,745원, 태양열 인큐베이터 돈사에는 마리당 39,215원으로 6.1% 절감되었다.

표 13. 태양열 인큐베이터 돈사의 자돈 경제성 분석

Treatment	Control	Solar energy	Reduction ratio (%)
0~1 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	1.38	1.18	
Feed cost (Won/Head)	43,642.5	37,317.5	14.5%
1~2 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	1.84	1.74	
Feed cost (Won/Head)	58,190.0	55,027.5	5.4%
0~2 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	1.32	1.24	
Feed cost (Won/Head)	41,745	39,215	6.1%

(9) 태양열 인큐베이터 돈사의 기후별, 주·야간 전기사용량 조사

- 태양열 인큐베이터 돈사의 기후별, 주·야간 전기사용량 조사한 결과는 표 14에 나타나 있다. 주간의 경우 맑은 날은 대조구에서 39.6 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 31.9 kWh으로 19.4% 감소되었으며, 흐린 날은 대조구에서 55.3 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 45.4 kWh으로 17.9% 감소되었다. 평균적으로 대조구는 47.5 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 38.7 kWh으로 18.5% 감소되었다. 야간의 경우 맑은 날은 대조구에서 77.2 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 64.7 kWh으로 16.2% 감소되었으며, 흐린 날은 대조구에서 71.6 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사에서는 60.9 kWh으로 14.9% 감소되었다. 평균적으로 대조구는 74.4 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사는 62.8kWh으로 15.6%

감소되었다. 전체적인 평균은 대조구 60.95 kWh, 태양열 인큐베이터 돈사 50.75 kWh
으로 17.1% 감소되었다.

표 14. 태양열 돈사의 기후별, 주·야간 전기사용량 (kWh)

Treatment	Weather	Control	Solar energy	Gap	Reduction ratio (%)
Day time (8:00~20:00)	Sunny	39.6	31.9	-7.7	19.4
	Cloud	55.3	45.4	-9.9	17.9
	Average	47.5	38.7	-8.8	18.5
Night time (20:00~8:00)	Sunny	77.2	64.7	-12.5	16.2
	Cloud	71.6	60.9	-10.7	14.9
	Average	74.4	62.8	-11.6	15.6
Average		60.95	50.75	-10.2	17.1

(10) 태양열 인큐베이터 돈사의 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량조사

- 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량 조사한 결과는 표 15에 나타나있다. 태양열 인큐베이터 돈사의 전락사용량을 가지고 이산화탄소 발생량을 조사하였다. Benjamin K. Sovacool (2008)의 조사 결과를 바탕으로 전기 1 kW당 이산화탄소 발생량을 66 g CO_{2e}발생으로 계산하여 이산화탄소 발생량을 조사하였다. 주간의 경우 맑은날은 대조구에서 2,613.6 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사는 2,105.4 g CO_{2e}으로 19.4% 감소되었으며, 흐린날은 대조구에서 3,649.8 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사는 2,996.4 g CO_{2e}으로 17.9% 감소되었다. 평균적으로 대조구는 3,135.0 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사는 2,554.2 g CO_{2e}으로 18.5% 감소되었다. 야간의 경우 맑은 날은 대조구에서 5,095.2 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사는 4,270.2 g CO_{2e}으로 16.2% 감소되었으며, 흐린 날은 대조구에서 4,725.6 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사에서는 4,019.4 g CO_{2e}으로 14.9% 감소되었다. 평균적으로 대조구는 4,910.4 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사는 4,144.8 g CO_{2e}으로 15.6% 감소되었다. 전체적인 평균은 대조구 4,022.7 g CO_{2e}, 태양열 인큐베이터 돈사 3,349.5 g CO_{2e}으로 17.1% 감소되었다.

표 15. 태양열 인큐베이터 돈사의 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량 (g CO_{2e})

Treatment	Weather	Control	Solar energy	Gap	Reduction ratio (%)
Day time (8:00~20:00)	Sunny	2,613.6	2,105.4	-508.2	19.4
	Cloud	3,649.8	2,996.4	-653.4	17.9
	Average	3,135.0	2,554.2	-580.8	18.5
Night time (20:00~8:00)	Sunny	5,095.2	4,270.2	-825.0	16.2
	Cloud	4,725.6	4,019.4	-706.2	14.9
	Average	4,910.4	4,144.8	-765.6	15.6
Average		4,022.7	3,349.5	-673.2	17.1

나. 2차년도 : 지열을 활용한 에너지 저감형 친환경 돈사 모델 개발 >

(1) 지열 돈사 작동 시스템 연구

(가) 지열 돈사 시스템을 위한 온도변화 조사

지열돈사 시스템을 가동을 위한 온도변화 조사를 실시하였다. 온도조사는 기상청에서 최근 6년간 순천지역 최고, 최저온도 및 최고와 최저온도 차이를 조사하였다.

최근 6년간 순천지역 최고온도 결과는 표 16에 나타나있다. 2009년부터 2014년까지 연평균 최고온도는 18.0~20.1℃ 온도분포를 보였으며, 2009년부터 2014년까지 월평균 온도는 5~10월까지는 21.9~30.2℃의 결과가 나타났으며, 11~4월까지는 5.0~18.5℃의 결과가 나타났다.

최근 6년간 순천지역 최저온도 결과는 표 17에 나타나있다. 2009년부터 2014년까지 연평균 최저온도는 7.3~8.0℃ 온도분포를 보였으며, 2009년부터 2014년까지 월평균 온도는 7~8월까지는 21.7~22.0℃의 결과가 나타났으며, 9~6월까지는 -6.1~17.1℃의 결과가 나타났다.

최근 6년간 순천지역 최고·최저온도차이 결과는 표 18에 나타나있다. 2009년부터 2014년까지 연평균 최고·최저온도 차이는 10.7~12.4℃ 온도분포를 보였으며, 2009년부터 2014년까지 월평균 최고·최저온도 차이는 7~8월에서 7.6~8.1℃의 결과가 나타났으며, 9~6월에서는 10.3~13.9℃ 결과가 나타났다.

최근 6년간 순천지역 평균온도 결과는 표 19에 나타나있다. 2009년부터 2014년까지 연평균온도는 12.7~13.8℃ 온도분포를 보였으며, 2009년부터 2014년까지 월평균온도는 6~9월에서 21.9~26.1℃의 결과가 나타났으며, 10~5월에서는 -0.5~17.8℃ 결과가 나타났다.

최고온도를 고려한다면 5~10월은 냉방시스템, 11~4월은 난방시스템으로 운영되어야 하며, 최저온도를 고려한다면 7~8월은 냉방시스템, 9~6월은 난방시스템으로 운영되어야 한다. 지열 시스템의 냉·난방 선택은 사육시기와 사육지역에 따라 고려되어야 한다.

표 16. 최근 6년간 순천지역 최고온도 (℃)

	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	월평균
1월	6.2	5.7	1.9	4.7	4.2	7.5	5.0
2월	11.6	9.1	10.0	5.1	6.9	9.4	8.7
3월	14.5	11.5	12.0	11.5	14.8	13.6	13.0
4월	21.0	16.7	18.0	18.7	16.7	20.0	18.5
5월	26.4	24.6	23.0	25.1	24.5	24.5	24.7
6월	28.2	29.3	27.2	26.7	26.8	26.2	27.4
7월	28.9	29.9	29.0	29.8	29.6	28.4	29.3
8월	30.3	32.0	29.0	30.3	32.1	27.2	30.2
9월	28.0	28.7	27.4	25.6	26.6	27.4	27.3
10월	23.4	21.6	21.1	21.4	22.1	-	21.9
11월	14.8	14.9	16.9	12.8	13.3	-	14.5
12월	7.3	8.1	6.4	4.6	7.4	-	6.8
연평균	20.1	19.3	18.5	18.0	18.8	20.5	-

※ 자료출처 : 기상청 (2009~2014년)

표 17. 최근 6년간 순천지역 최저온도 (°C)

	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	월평균
1월	-6.2	-5.8	-8.9	-4.7	-5.8	-5.2	-6.1
2월	-1.1	-1.3	-4.2	-5.3	-3.8	-2.8	-3.1
3월	0.5	1.3	-1.7	0.6	-0.8	1.2	0.2
4월	5.0	4.0	4.2	5.4	3.4	6.3	4.7
5월	10.5	11.1	11.3	11.5	10.6	9.9	10.8
6월	16.4	17.4	17.3	16.8	17.9	16.7	17.1
7월	20.6	22.3	22.2	21.9	22.5	20.6	21.7
8월	20.6	23.8	21.9	22.5	22.5	20.5	22.0
9월	16.5	18.3	16.1	15.2	15.9	16.6	16.4
10월	8.5	8.9	7.6	7.2	9.2	-	8.3
11월	3.2	0.1	6.3	1.4	1.6	-	2.5
12월	-3.1	-3.8	-2.9	-4.8	-2.9	-	-3.5
연평균	7.6	8.0	7.4	7.3	7.5	9.3	-

※ 자료출처 : 기상청 (2009~2014년)

표 18. 최근 6년간 순천지역 최고·최저온도 차이 (°C)

	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	월평균
1월	12.4	11.6	10.8	9.4	10.0	12.6	11.2
2월	12.7	10.4	14.3	10.4	10.8	12.2	11.8
3월	14.0	10.2	13.7	11.0	15.6	12.5	12.8
4월	15.9	12.7	13.8	13.4	13.3	13.7	13.8
5월	15.9	13.5	11.6	13.5	13.9	14.7	13.9
6월	11.8	11.9	9.9	9.9	8.9	9.5	10.3
7월	8.3	7.6	6.9	8.0	7.1	7.8	7.6
8월	9.6	8.2	7.1	7.8	9.5	6.6	8.1
9월	11.4	10.3	11.3	10.3	10.7	10.8	10.8
10월	14.9	12.8	13.5	14.3	12.9	-	13.7
11월	11.6	14.8	10.6	11.4	11.7	-	12.0
12월	10.4	11.8	9.4	9.4	10.3	-	10.3
연평균	12.4	11.3	11.1	10.7	11.2	11.2	-

※ 자료출처 : 기상청 (2009~2014년)

표 19. 최근 6년간 순천지역 평균온도 (°C)

	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	월평균
1월	0.0	0.0	-3.5	0.0	-0.8	1.2	-0.5
2월	5.3	3.9	2.9	-0.1	1.6	3.3	2.8
3월	7.5	6.4	5.2	6.1	7.0	7.4	6.6
4월	13.0	10.4	11.1	12.1	10.1	13.2	11.6
5월	18.5	17.9	17.2	18.3	17.6	17.2	17.8
6월	22.3	23.4	22.3	21.8	22.4	21.5	22.2
7월	24.8	26.1	25.6	25.9	26.1	24.5	25.5
8월	25.5	27.9	25.5	26.4	27.3	23.9	26.1
9월	22.3	23.5	21.8	20.4	21.3	22.0	21.9
10월	16.0	15.3	14.4	14.3	15.7	-	15.1
11월	9.0	7.5	11.6	7.1	7.5	-	8.5
12월	2.1	2.2	1.8	-0.1	2.3	-	1.6
연평균	13.8	13.7	13.0	12.7	13.1	14.9	-

※ 자료출처 : 기상청 (2009~2014년)

(2) 지열 인큐베이터 돈사의 작동 시스템 연구

(가) 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육성적

지열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 분석한 결과는 표 20에 나타나있다.

0~1주차의 실험기간 중 증체량은 지열 인큐베이터 돈사에서 0.75 kg으로 대조구 0.71 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 지열 인큐베이터 돈사에서 1.93 kg으로 대조구 1.91 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.69로 지열 인큐베이터 돈사 2.57보다 높게 나타났다. 1~2주차의 실험기간 중 증체량은 지열 인큐베이터 돈사에서 1.86 kg으로 대조구 1.77 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 3.83 kg으로 지열 인큐베이터 돈사 3.72 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.16으로 지열 인큐베이터 돈사 2.00보다 높게 나타났다. 2~3주차의 실험기간 중 증체량은 대조구 2.21 kg으로 지열 인큐베이터 돈사 2.17 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 지열 인큐베이터 돈사에서 3.71 kg으로 대조구 3.56 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 지열 인큐베이터 돈사에서 1.71으로 대조구 1.61보다 높게 나타났다. 0~3주차의 실험기간 중 증체량은 지열 인큐베이터 돈사에서 4.78 kg으로 대조구 4.69 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 지열 인큐베이터 돈사에서 9.35 kg으로 대조구 9.31 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.98로 지열 인큐베이터 돈사 1.96보다 높게 나타났다.

표 20. 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육성적

Treatment	Control	Geothermal
0~1 Weeks		
Initial Weight (kg)	7.11	7.12
Final Weight (kg)	7.82	7.87
Weight gain (kg)	0.71	0.75
Feed intake (kg)	1.91	1.93
FCR (Feed/Gain)	2.69	2.57
1~2 Weeks		
Initial Weight (kg)	7.82	7.87
Final Weight (kg)	9.59	9.73
Weight gain (kg)	1.77	1.86
Feed intake (kg)	3.83	3.72
FCR (Feed/Gain)	2.16	2.00
2~3 Weeks		
Initial Weight (kg)	9.59	9.73
Final Weight (kg)	11.80	11.90
Weight gain (kg)	2.21	2.17
Feed intake (kg)	3.56	3.71
FCR (Feed/Gain)	1.61	1.71
0~3 Weeks		
Initial Weight (kg)	7.11	7.12
Final Weight (kg)	11.80	11.90
Weight gain (kg)	4.69	4.78
Feed intake (kg)	9.31	9.35
FCR (Feed/Gain)	1.98	1.96

(나) 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 경제성분석

지열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 경제성 분석한 결과는 표 21에 나타나있다.

0~1주차의 실험기간 중 사료비용은 대조구에서 두당 1,807.68원, 지열 인큐베이터 돈사에는 두당 1,724.04원으로 4.5% 절감되었다. 1~2주차의 실험기간 중 사료비용은 대조구에서 두당 1,451.52원, 지열 인큐베이터 돈사에는 두당 1,344.00원으로 7.4% 절감되었다. 2~3주차의 실험기간 중 사료비용은 지열 인큐베이터 돈사에서 1,149.12원, 대조구에서 1,081.92원으로 6.2% 증가되었다. 0~3주차의 실험기간 중 사료비용은 대조구에서 1,330.56원, 지열 인큐베이터 돈사에서 1,317.12원으로 2.1% 절감되었다.

표 21. 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 경제성 분석

Treatment	Control	Geothermal	Reduction ratio (%)
0~1 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	2.69	2.57	
Feed cost (Won/Head)	1,807.68	1,727.04	4.5%
1~2 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	2.16	2.00	
Feed cost (Won/Head)	1,451.52	1,344.00	7.4%
2~3 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	1.61	1.71	-6.2%
Feed cost (Won/Head)	1,081.92	1,149.12	
0~3 Weeks			
FCR (Feed/Gain)	1.98	1.96	2.1%
Feed cost (Won/Head)	1,330.56	1,317.12	

(다) 지열시스템 성능분석

지열시스템 측정일별 외부 온·습도 변화 측정 결과는 그림 8에 나타나있다. 주간온도는 23.84~32.62℃에 분포하였으며, 야간온도는 17.04~23.13℃에 분포하였다. 주간습도는 3~9%에 분포하였으며, 야간습도는 2~7%에 분포하였다.

지열시스템 배관별 입·출구 온도 측정 결과는 표 22에 나타나있다. 지열시스템 배관은 지하수 배관(지하~지열히트펌프), 열교환장치 배관 (지열히트펌프~물저장탱크), 내부 배관 (물저장탱크~인큐베이터 내부)으로 구분하였다. 지하수 배관에서 주간의 경우 출구온도는 18.89~19.22℃를 보였으며, 평균적으로 19.04℃가 나왔으며, 입구온도는 18.83~19.51℃를 보였으며, 평균적으로 19.24℃가 나타났다. 야간의 경우 출구온도는 18.60~18.97℃를 보였으며, 평균적으로 18.72℃가 나왔으며, 입구온도는 18.67~19.19℃를 보였으며, 평균적으로 18.91℃가 나타났다.

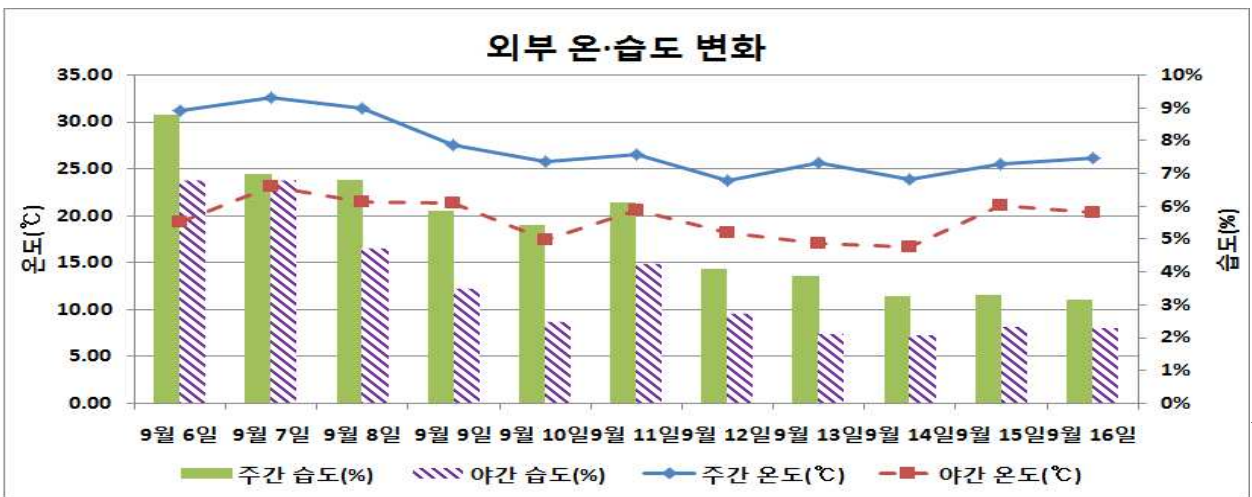


그림 8. 외부 온·습도 변화

열교환장치 배관에서 주간인 경우 출구온도는 41.59~43.81℃를 보였으며, 평균적으로 42.55℃가 나왔으며, 입구온도는 43.33~45.68℃를 보였으며, 평균적으로 44.30℃가 나타났다. 야간의 경우 출구온도는 41.24~43.52℃를 보였으며, 평균적으로 42.09℃가 나왔으며, 입구온도는 43.56~45.94℃를 보였으며, 평균적으로 44.45℃가 나타났다.

물저장탱크 배관에서 주간인 경우 출구온도는 42.52~45.37℃를 보였으며, 평균적으로 43.65℃가 나왔으며, 입구온도는 35.88~40.08℃를 보였으며, 평균적으로 37.79℃가 나타났다. 야간의 경우 출구온도는 42.95~45.55℃를 보였으며, 평균적으로 43.97℃가 나왔으며, 입구온도는 37.30~41.80℃를 보였으며, 평균적으로 39.11℃가 나타났다.

표 22. 지열시스템 배관별 입·출구 온도 (℃)

Treatment			Outflow	Inflow
지하수 배관 (지하~ 지열히트펌프)	Day time (8:00~20:00)	Max	19.22	19.51
		Min	18.89	18.83
		Average	19.04	19.24
지열히트펌프~ 물저장탱크)	Night time (20:00~8:00)	Max	18.97	19.19
		Min	18.60	18.67
		Average	18.72	18.91
열교환장치 배관 (지열히트펌프~ 물저장탱크)	Day time (8:00~20:00)	Max	43.81	45.68
		Min	41.59	43.33
		Average	42.55	44.30
물저장탱크 배관 (물저장탱크~ 인큐베이터 내부)	Night time (20:00~8:00)	Max	43.52	45.94
		Min	41.24	43.56
		Average	42.09	44.45
물저장탱크 배관 (물저장탱크~ 인큐베이터 내부)	Day time (8:00~20:00)	Max	45.37	40.08
		Min	42.52	35.88
		Average	43.65	37.79
물저장탱크 배관 (물저장탱크~ 인큐베이터 내부)	Night time (20:00~8:00)	Max	45.55	41.80
		Min	42.95	37.30
		Average	43.97	39.11

지열시스템 지열히트펌프 난방지수 (COP) 분석 결과는 표 23에 나타나있다. 난방성능지수 측정위치는 지열히트펌프~물저장탱크구간으로 측정하였다. 주간인 COP는 2.86, 야간의 COP는 3.51로 분석되었으며, 평균적으로 3.19로 분석되었다.

표 23. 지열히트펌프 난방성능지수 (Coefficient Of Performance, COP)

	Flow rate (L/min)	Out-In flow gap (℃)	Heat absorption (kW)	COP
Day time	75	1.75	9.19	2.86
Night time	75	2.36	12.39	3.51
Average	75	2.06	10.79	3.19

※ 지열히트펌프 소비전력 : 4.93 kW

(라) 지열 인큐베이터 돈사 내부 온도 측정

지열 인큐베이터 돈사 내부의 평균 온도 측정 결과는 표 24에 나타나있다. 인큐베이터 돈사 내부온도는 2주 동안 24시간 기록되었으며, 8시를 기점으로 주간과 야간으로 나누었다. 온도측정 위치는 상단부와 하단부로 나누어 측정되었으며, 돈사별로 6곳에서 측정하였다.

표 24. 지열 인큐베이터 돈사 내부의 평균 온도 (°C)

Treatment		Control	Geothermal	Gap	
Day time (8:00~20:00)	Upper	Entry	27.13	27.43	+0.30
		Center	27.29	27.43	+0.14
		Inside	27.83	27.77	-0.07
		Average	27.42	27.54	+0.12
	Bottom	Entry	27.19	27.45	+0.26
		Center	27.35	27.35	+0.01
		Inside	27.72	27.84	+0.12
		Average	27.42	27.55	+0.13
	Average		27.42	27.55	+0.13
	Night time (20:00~8:00)	Upper	Entry	26.38	26.73
Center			26.71	26.15	-0.56
Inside			27.11	26.51	-0.60
Average			26.73	26.46	-0.27
Bottom		Entry	26.57	26.83	+0.25
		Center	26.90	26.08	-0.82
		Inside	27.07	26.87	-0.20
		Average	26.85	26.59	-0.26
Average		26.79	26.53	-0.26	

주간의 경우 상단부 온도는 대조구에서 27.13~27.83°C를 보였으며, 평균적으로 27.42°C가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 27.43~27.77°C를 보였으며, 평균적으로 27.54°C가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 지열 인큐베이터 돈사에서 0.12°C 높게 나타났다. 하단부 온도는 대조구에서 27.19~27.72°C를 보였으며, 평균적으로 27.42°C가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 27.35~27.84°C를 보였으며, 평균적으로 27.55°C가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 지열 인큐베이터 돈사에서 0.13°C 높게 나타났다. 주간의 평균 돈사 내부 온도는 대조구 27.42°C, 지열 인큐베이터 돈사에서 27.55°C로 나타나 지열 인큐베이터 돈사에서 0.13°C 높게 나타났다.

야간의 경우 상단부 온도는 대조구에서 26.38~27.11°C를 보였으며, 평균적으로 26.73°C가 나

왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 26.15~26.73℃를 보였으며, 평균적으로 26.46℃가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 대조구에서 0.27℃ 높게 나타났다. 하단부 온도는 대조구에서 26.57~27.07℃를 보였으며, 평균적으로 26.85℃가 나왔으며, 지열 인큐베이터 돈사는 26.08~26.87℃를 보였으며, 평균적으로 26.59℃가 나타났다. 온도차이는 평균적으로 대조구에서 0.26℃ 높게 나타났다. 주간의 평균온도는 대조구 26.79℃, 지열 인큐베이터 돈사에서 26.53℃로 나타나 대조구에서 0.26℃ 높게 나타났다.

(마) 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 조사

지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 결과는 표 25에 나타나있다. 0~1주차의 경우 대조구에서 324.7 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 119.1 kWh으로 63.32% 감소되었다. 1~2주차의 경우 대조구에서 256.5 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 111.0 kWh으로 56.73% 감소되었다. 2~3주차의 경우 대조구에서 449.2 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 127.7 kWh으로 71.57% 감소되었다. 전체적인 합계은 대조구 1,030.4 kWh, 지열 인큐베이터 돈사는 357.8 kWh으로 65.28% 감소되었다.

표 25. 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량 (kWh)

Treatment	Control	Geothermal	Gap	Reduction ratio (%)
0~1 Weeks	324.7	119.1	-205.6	63.32
1~2 Weeks	256.5	111.0	-145.5	56.73
2~3 Weeks	449.2	127.7	-321.5	71.57
Sum	1,030.4	357.8	-672.6	65.28

(바) 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량 조사

지열 인큐베이터 돈사의 전량사용량에 따른 이산화탄소 발생량 조사한 결과는 표 26에 나타나있다. 0~1주차의 경우 대조구에서 21.43 kg CO2e, 지열 인큐베이터 돈사 7.86 kg CO2e으로 63.32% 감소하였다. 1~2주차의 경우 대조구에서 16.93 kg CO2e, 지열 인큐베이터 돈사 7.33 kg CO2e으로 56.73% 감소하였다. 2~3주차의 경우 대조구에서 29.65 kg CO2e, 지열 인큐베이터 돈사 8.73 kg CO2e으로 71.57% 감소하였다. 전체적인 합계는 대조구에서 68.01 kg CO2e, 지열 인큐베이터 돈사는 23.62 kg CO2e으로 65.28% 감소하였다.

표 26. 지열 인큐베이터 돈사의 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량 (kg CO2e)

Treatment	Control	Geothermal	Gap	Reduction ratio (%)
0~1 Weeks	21.43	7.86	-13.57	63.32
1~2 Weeks	16.93	7.33	-9.60	56.73
2~3 Weeks	29.65	8.43	-21.22	71.57
Sum	68.01	23.62	-44.39	65.28

(2) 동물복지농장에 대한 조사

(가) 동물복지농장의 전기사용량 조사를 위한 동의서 및 조사표

<p style="text-align: center;">양돈농가의 규모 및 신재생에너지 사용양돈농가의 전력사용량 (2003년~2014년) 조사 동의서</p> <p>순천대학교 동물자원과학과 (양철주 교수)에서 농림수산식품기술기획평가원(IPET)에서 지원을 받아 '에너지 저감형 돈사 모델 개발' 과제를 수행하고 있습니다. 본 과제 수행을 위하여 양돈농가의 규모 및 신재생에너지 사용양돈농가의 전력사용량 (2003년~2014년) 파악하고자 하오니 부디 협조하여 주시기 바랍니다.</p> <p>농장용 전력 고객번호를 기재해주시실 경우 한국전력공사에서 조회가 가능합니다. 고객번호를 모르시는 분은 한국전력공사 고객센터 (국번없이 123)에 문의하시거나, 전기요금납부 고지서에서 확인하시어 연구의 성과달성을 위하여 부디 협조하여 주시기 바랍니다.</p> <p>· 농장용 전력 고객번호 :</p> <p>· 농 장 명 : <u>강산 이나기</u></p> <p>· 농장주소 : <u>전남 해남군 해남읍 송곡길 361</u></p> <p>· 농장대표 : <u>강 인 주</u> (인)</p> <p>· 전화번호 : <u>061) 336-2000</u></p> <p>· 전력사용량 조회 동의여부 : <u>(동의) / 거부</u></p> <p style="text-align: center;">본 조사에 협조해 주셔서 감사합니다.</p>	<p style="text-align: center;">축산농가 조사표</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>안녕하십니까? 순천대학교 동물자원과학과에서는 농림수산식품기술기획평가원에서 지원을 받아 '에너지 저감형 돈사 모델 개발' 연구를 수행하고 있습니다. 연구목적 달성을 위하여 축산농가를 대상으로 <u>농기현황, 축산에서 신재생에너지시스템에 대한 의견</u>을 조사 중에 있으며, 이를 바탕으로 축산에서 지열에너지 축산기술을 개발하고자 합니다.</p> <p>설문조사를 통해 취득한 정보는 연구 이외의 목적으로는 사용하지 않을 것을 약속드리오니, 바쁘시더라도 빠짐없이 작성해 주시면 대단히 감사하겠습니다. 설문작성 중 궁금한 사항이 있으시면 아래로 연락 주시기 바랍니다. 감사합니다.</p> </div> <p>문 의</p> <p>- 연구진 : 양철주 교수, 문홍석 연구원 - E-mail : yangcj@scnu.kr, mh8828@nate.com - 전 화 : 010-7963-9968 (문홍석) - F A X : 061-750-3239</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td>농 장 명</td> <td><u>강산 이나기</u></td> <td>사육정력</td> <td><u>2</u>년 <u> </u>개월</td> </tr> <tr> <td>성 명</td> <td><u>강 인 주</u></td> <td>연 령</td> <td><u>28</u>세</td> </tr> <tr> <td>연 락 처</td> <td><u>310-3827-9122</u></td> <td>축사면적 ()평, ()/10m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>주 소</td> <td colspan="3"><u>해남 시/군 해남 (읍/면/동) 송곡길 361</u></td> </tr> <tr> <td>연중상시 인력현황</td> <td>① 가족노동 ()명 ② 고용노동 (<u>6</u>)명</td> <td>학 령</td> <td>① 초졸 ② 중졸 ③ <u>고졸</u> ④ 대졸</td> </tr> </table>	농 장 명	<u>강산 이나기</u>	사육정력	<u>2</u> 년 <u> </u> 개월	성 명	<u>강 인 주</u>	연 령	<u>28</u> 세	연 락 처	<u>310-3827-9122</u>	축사면적 ()평, ()/10m ²		주 소	<u>해남 시/군 해남 (읍/면/동) 송곡길 361</u>			연중상시 인력현황	① 가족노동 ()명 ② 고용노동 (<u>6</u>)명	학 령	① 초졸 ② 중졸 ③ <u>고졸</u> ④ 대졸
농 장 명	<u>강산 이나기</u>	사육정력	<u>2</u> 년 <u> </u> 개월																		
성 명	<u>강 인 주</u>	연 령	<u>28</u> 세																		
연 락 처	<u>310-3827-9122</u>	축사면적 ()평, ()/10m ²																			
주 소	<u>해남 시/군 해남 (읍/면/동) 송곡길 361</u>																				
연중상시 인력현황	① 가족노동 ()명 ② 고용노동 (<u>6</u>)명	학 령	① 초졸 ② 중졸 ③ <u>고졸</u> ④ 대졸																		
전기사용량 조회 동의서	축산농가 조사표																				

(나) 동물복지농장의 신재생에너지시스템에 대한 의견 조사

① 생산비에서 전기사용료가 차지하는 비율이 크다고 생각되십니까?

- 모르겠다.

② 동물복지 또는 친환경 농장 인증 등을 취득 후 전력사용량의 변화가 있습니까?

- 증가하였다.

③ 신재생에너지에 대해 알고 있습니까?

- 예

④ 알고 있는 신재생에너지 종류는 무엇입니까?

- 태양광

⑤ 주택뿐만 아니라 축산에서도 신재생에너지 보급사업이 진행된다면 설치할 생각이 있습니까?

- 아니오

⑥ 설치할 생각이 없다면, 그 이유는 무엇입니까?

- 농가에 큰 차별이 없다고 생각됨

⑦ 귀하의 생각에 신재생에너지시스템 설치시 정부의 지원은 어느정도가 적당할까요?

- 50%

다. 3차년도 : 에너지 저감형 돈사 모델의 최적 운영방안에 대한 연구

(1) 지열난방시스템을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구

(가) 지열난방시스템 성능분석

지열난방시스템 성능분석 결과는 표 27과 그림 9~11으로 나타내었다. 지열히트펌프는 배출 온도는 평균적으로 44.08~44.26 °C로 일정한 온수를 배출하였으며, 지열히트펌프로 인입되는 물의 온도는 평균적으로 15.19~18.46 °C로 측정되었다. 지열히트펌프를 통해 데워진 온수와 돈사 내부의 난방을 하고 되돌아온 온수의 온도차이는 평균적으로 25.80~28.89 °C차이를 보였다. 지열히트펌프와 내부 팬코일유닛 장치의 전기사용량을 측정한 결과 평균적으로 39.91~44.59 kWh/1주일의 전기를 사용하였다. 지열히트펌프의 난방지수를 분석한 결과 평균적으로 4.40~4.51로 일정한 난방지수를 보여주어 시스템은 안정적으로 작동하고 있음을 확인하였다.

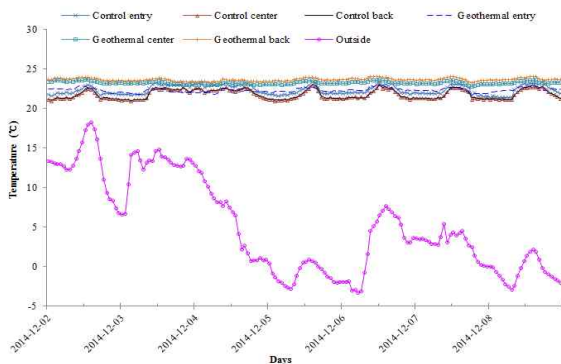


그림 9. 지열 성능 분석
(2015년 12월 2일 ~ 2015년 12월 8일)

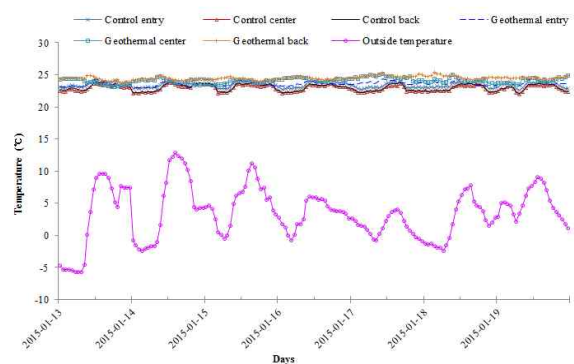


그림 10. 지열 성능 분석
(2016년 1월 13일 ~ 2016년 1월 19일)

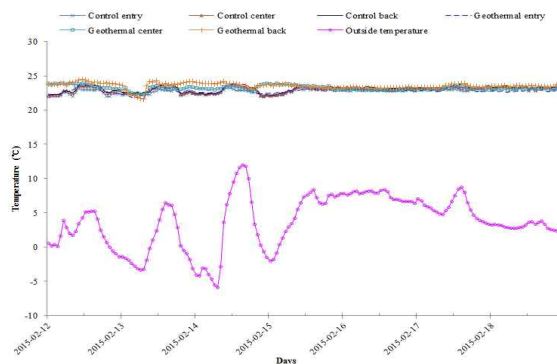


그림 11. 지열 성능 분석
(2016년 2월 12일 ~ 2016년 2월 18일)

표 27. 지열 난방 지수 분석결과

Date	Heat pump water flow temperature (°C)		Difference	Heat pump COP
	Outflow	Inflow		
First week				
2014.12.02	44.35	16.88	27.47	4.27
2014.12.03	44.11	17.56	26.54	4.11
2014.12.04	44.02	17.87	26.14	4.30
2014.12.05	44.22	14.98	29.24	4.47
2014.12.06	43.93	11.78	32.15	4.51
2014.12.07	43.81	11.95	31.86	4.74
2014.12.08	44.15	15.29	28.85	4.40
Average	44.08	15.19	28.89	4.40
Second week				
2015.01.13	44.48	17.93	26.55	4.14
2015.01.14	44.16	16.60	27.57	4.65
2015.01.15	44.15	18.56	25.59	4.44
2015.01.16	44.15	17.29	26.86	4.44
2015.01.17	44.03	12.77	31.27	4.82
2015.01.18	44.34	15.64	28.71	4.39
2015.01.19	44.20	17.42	26.78	4.71
Average	44.22	16.60	27.62	4.51
Third week				
2015.02.12	44.51	18.31	26.20	4.19
2015.02.13	44.79	17.97	26.82	4.07
2015.02.14	44.47	18.44	26.03	4.29
2015.02.15	44.13	18.67	25.46	3.94
2015.02.16	43.86	18.93	24.93	5.45
2015.02.17	44.03	19.01	25.02	4.60
2015.02.18	44.06	17.90	26.16	4.66
Average	44.26	18.46	25.80	4.46

(나) 지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 조사

지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 결과는 표 28에 나타내었다. 2014년 12월 2일 ~ 2014년 12월 8일 전기사용량은 대조구에서 570.4 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 312.1 kWh 사용으로 45.28% 감소되었다. 2015년 1월 13일 ~ 2015년 1월 19일 전기사용량은 대조구에서 536.7 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 289.4 kWh 사용으로 46.08% 감소되었다. 2015년 2월 12일 ~ 2015년 2월 18일 전기사용량은 대조구에서 515.0 kWh, 지열 인큐베이터돈사 279.4 kWh 사용으로 45.75% 감소되었다. 2015년 3월 6일 ~ 2015년 3월 12일 전기사용량은 대조구에서 733.1 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 302.6 kWh 사용으로 58.72% 감소되었다. 2015년 4월 14일 ~ 2015년 4월 20일 전기사용량은 대조구에서 272.5 kWh, 지열 인큐베이터돈사 184.7 kWh 사용으로 32.22% 감소되었다. 2015년 5월 5일 ~ 2015년 5월 11일 전기사용량은 대조구에서 178.8 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 145.0 kWh 사용으로 18.90% 감소되었다. 2015년 11월 1일 ~ 2015년 11월 30일 전기사용량은 대조구에서 1,506.7 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 896.5 kWh 사용으로 40.50% 감소되었다. 2015년 12월 1일 ~ 2015년 12월 31일 전기사용량은 대조구에서 2,712.5 kWh, 지열 인큐베이터돈사에서 1,514.4 kWh 사용으로 44.17% 감소되었다. 시험 전체기간의 전기사용량은 대조구에서 7,025.7 kWh, 지열 인큐베이터돈사 3,924.1 kWh 사용으로 44.15% 감소되었다.

표 28. 지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 (kWh)

Period	Control	Geothermal	Gap	Reduction ratio (%)
2014. 12. 02 ~ 2014. 12. 08.	570.4	312.1	-258.3	45.28
2015. 01. 13 ~ 2015. 01. 19.	536.7	289.4	-247.3	46.08
2015. 02. 12 ~ 2015. 02. 18.	515.0	279.4	-235.6	45.75
2015. 03. 06 ~ 2015. 03. 12.	733.1	302.6	-430.5	58.72
2015. 04. 14 ~ 2015. 04. 20.	272.5	184.7	-87.8	32.22
2015. 05. 05 ~ 2015. 05. 11.	178.8	145.0	-33.8	18.90
2015. 11. 01 ~ 2015. 11. 30.	1,506.7	896.5	-610.2	40.50
2015. 12. 01 ~ 2015. 12. 31.	2,712.5	1514.4	-1,198.1	44.17
Sum	7,025.7	3,924.1	-3,101.6	44.15

(다) 자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정

자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정결과는 표 28에 나타내었다. NH₃ (암모니아)는 대조구에서 18.59 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 8.00 ppm으로 측정되었다. H₂S (황화수소)는 대조구에서 0.25 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 0.13 ppm으로 측정되었다. SO₂ (이산화황)은 대조구에서 0.89 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 0.73 ppm으로 측정되었다. 지열 난방시스템을 활용시 돈사 내부의 악취가스가 저감되는 결과가 나타났다. Choi 등 (2010)은 지열난방시스템은 돈사에 암모니아 등의 유해가스를 희석하여 신선한 공기를 공급하여 공기의 질을 개선한다고 보고하였다.

표 28. 자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정결과

Parameters	Noxious gas emissions (ppm)		Reduced	P value
	Control	Geothermal		
NH ₃	18.59±0.28	8.00±0.18	10.59	<0.0001
H ₂ S	0.25±0.02	0.13±0.01	0.12	<0.0001
SO ₂	0.89±0.03	0.73±0.05	0.16	0.02

(라) 지열 시스템 경제성 분석

지열 시스템 인큐베이터 돈사의 경제성 분석결과는 표 29에 나타내었다. 대조구 돈사의 설치비용은 4,419.41 USD이며, 지열 돈사의 설치비용은 17,677.35 USD로 추정되었다. 내구연한은 대조구는 5년이지만, 지열시스템의 Ground loop는 50년 이상, Heat pump는 25년 이상으로 되어있다. 매년 가동시 소요되는 비용은 대조구 돈사는 216.14 USD, 지열 돈사는 48.46 USD로 계산되었다. 감가상각 분석결과는 대조구는 5년, 지열 돈사는 25년을 사용해야 수익이 발생하기 시작한다.

표 29. 지열 시스템 경제성 분석결과

	Control	Geothermal	
Installation cost (USD)	4,419.41	17,677.35	
Life span	5 years	a)Ground loop, >50 year 1. Heat pump, 25 years	As per the company instruction
Annual operational cost (USD)	216.14	48.46	
Depreciation time	5 years	25 years	

(2) 태양열+지열난방시스템을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구

(가) 태양열+지열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육성적

(2) 태양열+지열난방시스템을 활용한 최적 운영방안에 대한 연구

(가) 태양열+지열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육성적

태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 사육된 자돈의 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율을 분석한 결과는 표 31에 나타나있다.

0~4주차의 실험기간 중 증체량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 11.11 kg으로 대조구 9.59 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 14.66 kg으로 대조구 14.05 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 1.46로 태양열+지열 인큐베이터 돈사 1.32보다 높게 나타났다. 4~8주차의 실험기간 중 증체량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 13.30 kg으로 대조구 12.15 kg보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 대조구에서 34.72 kg으로 태양열+지열 인큐베이터 돈사 32.19 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.65으로 태양열+지열 인큐베이터 돈사 2.61보다 높게 나타났다. 0~8주차의 실험기간 중 증체량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 24.41 kg으로 대조구 21.74 kg 보다 높게 나타났으며, 사료섭취량은 태양열+지열 인큐베이터 돈사에서 49.38 kg으로 대조구 46.24 kg보다 높게 나타났다. 사료요구율은 대조구에서 2.13으로 태양열+지열 인큐베이터 돈사 2.02보다 높게 나타났다.

표 31. 지열 인큐베이터 돈사의 자돈 사육성적

Treatment	Control	Solar+Geothermal
0~4 Weeks		
Initial Weight (kg)	6.94	6.94
Final Weight (kg)	16.53	18.05
Weight gain (kg)	9.59	11.11
Feed intake (kg)	14.05	14.66
FCR (Feed/Gain)	1.46	1.32
4~8 Weeks		
Initial Weight (kg)	16.53	18.05
Final Weight (kg)	28.68	31.35
Weight gain (kg)	12.15	13.30
Feed intake (kg)	32.19	34.72
FCR (Feed/Gain)	2.65	2.61
0~8 Weeks		
Initial Weight (kg)	6.94	6.94
Final Weight (kg)	28.68	31.35
Weight gain (kg)	21.74	24.41
Feed intake (kg)	46.24	49.38
FCR (Feed/Gain)	2.13	2.02

(나) 자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정

자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정결과는 표 32에 나타내었다. NH₃ (암모니아)는 대조구에서 8.0~10.0 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 1.5~3.0 ppm으로 측정되었다. H₂S (황화수소)는 대조구에서 2.0~2.5 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 0.2~0.5 ppm으로 측정되었다. SO₂ (이산화황)은 대조구에서 0.4~0.5 ppm으로 측정되었으며, 태양열+지열 돈사에서는 0.1 ppm으로 측정되었다. 태양열+지열 난방시스템을 활용시 돈사 내부의 악취가스가 저감되는 결과가 나타났다. EPA는 지열시스템은 직접연소를 시키기 않기 때문에 배출량 감소를 설명할수 있다고 보고하였으며, A. Holm (2012)등은 지열시스템을 통해 미량, 암모니아, 질소, 메탄, 황화수소 등이 방출될수 있다고 보고하였다.

표 32. 자돈 인큐베이터 돈사 내부의 악취가스 측정 결과

Parameters	Noxious gas emissions (ppm)		SEM	P value
	Control	Solar+Geothermal		
First week				
NH ₃	10.00	3.00	0.37	<0.0001
H ₂ S	2.50	0.50	0.11	<0.0001
SO ₂	0.50	0.10	0.04	<0.0001
Second week				
NH ₃	8.00	3.00	0.46	<0.0001
H ₂ S	2.00	0.20	0.14	<0.0001
SO ₂	0.40	0.10	0.04	0.0012
Third week				
NH ₃	8.50	1.50	0.26	<0.0001
H ₂ S	2.00	0.20	0.12	<0.0001
SO ₂	0.50	0.10	0.04	<0.0001

(다) 태양열시스템 난방지수

태양열시스템 난방지수 분석결과는 표 33에 나타내었다. 외부온도는 12월 (1주일)에는 평균 0.06℃, 1월 (1주일)에는 2.58℃, 2월 (1주일)에는 10.45℃로 12~1월까지 추운 온도를 보였다. 태양강도는 평균적으로 12월 (1주일)에는 평균 946.42 W/m², 1월 (1주일)에는 1,262.23 W/m², 2월 (1주일)에는 966.05 W/m²로 분석되어 겨울철에는 날씨의 영향이 미치는 것으로 분석된다. 집열기효율은 61.36~65.13%의 효율이 측정되었다. 에너지 생산량은 122.17~168.71 kWh/m²/day로 분석되었다. 난방지수는 12월 (1주일)에는 평균 4.58, 1월 (1주일)에는 4.61, 2월 (1주일)에는 4.48로 분석되어 성능은 비슷하게 분석되었다.

표 33. 태양열시스템의 난방지수 분석결과

	Ambient temperature (°C)	Solar intensity (W/m ²)	Collector efficiency (%)	Energy output (kWh/m ² /day)	GHP COP
First week					
2014.12.14	0.14	1,582.83	66.55	214.62	5.18
2014.12.15	2.26	849.01	63.41	109.70	4.68
2014.12.16	1.28	363.95	54.56	40.46	4.80
2014.12.17	-4.26	994.64	62.31	126.29	4.24
2014.12.18	-1.96	1,665.51	66.48	225.61	4.16
2014.12.19	0.30	562.12	56.99	65.27	4.31
2014.12.20	2.65	606.89	59.22	73.23	4.64
Average	0.06	946.42	61.36	122.17	4.58
Second week					
2015.01.05	5.06	634.77	60.39	78.10	4.45
2015.01.06	5.08	1,479.03	66.79	201.29	4.78
2015.01.07	-0.61	1,544.88	66.33	208.79	4.54
2015.01.08	0.28	1,396.27	65.78	187.14	4.24
2015.01.09	3.08	1,154.38	65.06	153.04	4.51
2015.01.10	4.09	1,471.59	66.71	200.04	5.00
2015.01.11	1.10	1,154.69	64.83	152.54	4.76
Average	2.58	1,262.23	65.13	168.71	4.61
Third week					
2015.03.14	6.86	1,451.10	66.74	197.33	4.51
2015.03.15	7.54	1,191.35	66.12	160.50	4.04
2015.03.16	9.81	1,276.27	66.91	174.01	4.28
2015.03.17	11.32	1,046.04	66.13	140.95	4.34
2015.03.18	11.77	252.00	48.55	24.93	3.37
2015.03.19	12.46	653.29	62.99	83.85	5.12
2015.03.20	13.41	892.31	65.66	119.37	4.17
Average	10.45	966.05	63.30	128.71	4.48

(라) 자돈 인큐베이터 돈사의 전기사용량

자돈 인큐베이터 돈사의 전기사용량 분석결과는 표 34에 나타내었다.

표 34. 자돈 인큐베이터 돈사의 전기사용량 분석 결과

Days	Electricity use (kWh)			CO ₂ emission (kg)			Cost savings (USD) S+G
	Control	Solar +Geothermal	Reduced	Control	Solar +Geothermal	Reduced	
First week							
2014.12.14	82.90	44.80	38.10	45.35	24.51	20.84	16.16
2014.12.15	89.40	48.20	41.20	48.90	26.37	22.54	17.48
2014.12.16	74.40	42.30	32.10	40.70	23.14	17.56	13.62
2014.12.17	107.90	50.20	57.70	59.02	27.46	31.56	24.47
2014.12.18	98.70	50.20	48.50	53.99	27.46	26.53	20.57
2014.12.19	92.10	47.10	45.00	50.38	25.76	24.61	19.09
2014.12.20	79.90	42.70	37.20	43.71	23.36	20.35	15.78
Total/week	625.30	325.50	299.80	342.05	178.06	163.99	127.16
Second week							
2015.01.05	75.10	46.20	28.90	41.08	25.27	15.81	12.26
2015.01.06	67.90	40.90	27.00	37.14	22.37	14.77	16.37
2015.01.07	89.40	50.80	38.60	48.90	27.79	21.11	16.58
2015.01.08	88.90	49.80	39.10	48.63	27.24	21.39	14.80
2015.01.09	78.60	43.70	34.90	42.99	23.90	19.09	13.15
2015.01.10	71.90	40.90	31.00	39.33	22.37	16.96	14.38
2015.01.11	80.20	46.30	33.90	43.87	25.33	18.54	15.61
Total/week	552.00	318.60	233.40	301.94	174.27	127.67	103.15
Third week							
2015.03.14	107.70	44.50	63.20	58.91	24.34	34.57	27.23
2015.03.15	110.00	45.80	64.20	60.17	25.05	35.12	27.53
2015.03.16	108.10	40.60	67.50	59.13	22.21	36.92	26.89
2015.03.17	101.80	38.80	63.00	55.68	21.22	34.46	27.02
2015.03.18	99.40	52.80	46.60	54.37	28.88	25.49	31.05
2015.03.19	101.40	31.40	70.00	55.47	17.18	38.29	30.33
2015.03.20	101.60	39.00	62.60	55.58	21.33	34.24	29.95
Total/week	730.00	292.90	437.10	399.31	160.21	239.09	199.99
Grand total	1,907.30	937.00	970.30	1,043.30	512.54	530.75	430.30

전기사용량은 대조구돈사는 12월 (1주일)에는 625.30 kWh, 1월 (1주일)에는 552.00 kWh, 2월 (1주일)에는 730.00 kWh를 측정되어 1,907.30 kWh를 사용하였다. 태양열+지열돈사는 12월 (1주일)에는 325.50 kWh, 1월 (1주일)에는 318.60 kWh, 2월 (1주일)에는 292.90 kWh를 측정되어

937.000 kWh를 사용하였다. 결과적으로 태양열+지열 돈사에서 대조구 돈사에 비해서 970.30 kWh (약 51%)의 전기사용량을 절감하는 결과가 나타났다.

CO2배출량은 대조구 돈사는 12월 (1주일)에는 342.05 kg, 1월 (1주일)에는 301.94 kg, 2월 (1주일)에는 399.31 kg으로 분석되어 1,043.30 kg을 배출하였다. 태양열+지열돈사는 12월 (1주일)에는 178.06 kg, 1월 (1주일)에는 174.27 kg, 2월 (1주일)에는 160.21 kg으로 분석되어 512.54 kg을 배출하였다. 결과적으로 태양열+지열 돈사에서 대조구 돈사에 비해서 530.75 kg (약 51%)의 CO2 배출을 감소시키는 결과가 나타났다.

(마) 태양열+지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 조사

태양열+지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 결과는 표 35에 나타내었다. 2014년 12월 14일 ~ 2014년 12월 20일 전기사용량은 대조구에서 625.3 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사에서 297.5 kWh 사용으로 52.42% 감소되었다. 2015년 1월 5일 ~ 2015년 1월 11일 전기사용량은 대조구에서 582.0 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사에서 143.6 kWh 사용으로 75.33% 감소되었다. 2015년 3월 14일 ~ 2015년 3월 20일 전기사용량은 대조구에서 681.0 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사 292.9 kWh 사용으로 56.99% 감소되었다. 2015년 5월 14일 ~ 2015년 5월 31일 전기사용량은 대조구에서 1,144.4 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사 556.2 kWh 사용으로 51.40% 감소되었다. 2015년 6월 1일 ~ 2015년 6월 30일 전기사용량은 대조구에서 1,256.7 kWh, 태양열+지열 인큐베이터돈사 769.9 kWh 사용으로 38.74% 감소되었다. 시험 전체기간의 전기사용량은 대조구에서 4,289.4 kWh, 지열 인큐베이터돈사 2,060.1 kWh 사용으로 51.97% 감소되었다.

표 35. 태양열+지열 인큐베이터돈사의 월별 전기사용량 (kWh)

Period	Control	Solar +Geothermal	Gap	Reduction ratio (%)
2014. 12. 14 ~ 2014. 12. 20.	625.3	297.5	-327.8	52.42
2015. 01. 05 ~ 2015. 01. 11.	582.0	143.6	-438.4	75.33
2015. 03. 14 ~ 2015. 03. 20.	681.0	292.9	-388.1	56.99
2015. 05. 14 ~ 2015. 05. 31.	1,144.4	556.2	-588.2	51.40
2015. 06. 01 ~ 2015. 06. 30.	1,256.7	769.9	-486.8	38.74
Sum	4,289.4	2,060.1	-2229.3	51.97

3. 제 2 협동 : 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발

가. 1차년도 연구결과 요약

1. 우리나라 돈사의 악취 및 특성 분석

- 우리나라 전국의 총 12개 돈사를 여름과 겨울로 두 차례 방문하여 조사 분석 하였다, 상대적으로 악취가 많이 발생하는 육성돈사를 대상으로, 1차 현장 조사는 2013년 1~2월에, 2차 현장 조사는 7월~8월에 실시하였다. 관련 시설의 정보보호를 위해, 농장이름은 공개하지 않았으며 축사 시설에 관한 일반 정보는 아래에 제시되어 있다.

■ Farm 1

위치	충청남도 천안시	사육두수	564두
돈사크기	399m ²	두당면적	0.67m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	강제환기



- 완공된 지 1년 된 신설돈사로 내외부 돈사시설의 상태는 낙후되지 않았으나 부적절한 환기시설 설비로 공기유동 원활치 않아 내부 환경이 매우 열악하다. 슬러리 피트의 분뇨는 일정하게 배출하지 않으며 슬러리가 돈사바닥에 차오를 때 (약 30일)마다 배출한다. 주변 거주지와 의 거리는 100m 이내로 가깝지만 주변 민원은 없는 편이다. 돈사 내 돼지에 Pinkeye 현상을 많이 목격할 수 있었으며 습도가 높아 돈분뇨가 돼지의 몸에 많이 묻어있는 상태이다.

■ Farm 2

위치	충청남도 당진시	사육두수	470두
돈사크기	270m ²	두당면적	0.44m ² /두
돈사형태	스크래퍼	환기방식	자연환기



- 돈사는 내외부 낙후되어 있으며 돈사 바닥의 분변을 하루에 한 번 인력으로 수거함. 돈사 100m 이내 몇몇 주거지가 있지만 주변이 산지로 둘러싸여 있어 악취로 인한 민원은 없다. 돈사 상태에도 불구하고 돼지들의 상태는 대체적으로 양호하며, 분뇨관리가 잘 돼 있어 악취가 심하지 않다.

■ Farm 3

위치	충청남도 당진시	사육두수	160두
돈사크기	121.44m ²	두당면적	0.68m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	강제환기



- 돈사 우측에 긴 복도를 두고 좌측에 여러 개의 방으로 이루어져 있어 축사환기에 구조적 문제가 있으며 슬러리는 한 달에 한 번 돼지 출하 후 빼낸다. 주변 주거지와 거리 150m 이상으로 특별한 민원 없으나, 사체를 소각하지 않고 한 곳에 모아두어 하절기에는 악취문제 발생할 것으로 사료된다.

■ Farm 4

위치	충청남도 당진시	사육두수	44두
돈사크기	200m ²	두당면적	3.91m ² /두
돈사형태	톱밥	환기방식	자연환기



- 돈사 내외부 상당히 낙후 되어 있으며 특별한 환기시설이나 윈치커튼 없이 벽면에 일정한 공간을 뚫어 공기를 소통하게 한다. 톱밥은 한달 반 정도의 주기를 두어 교체를 하나 조사당시 톱밥의 상태가 거의 분뇨더미 같이 묽었고 그로인해 느껴지는 악취농도가 높았다. 다수의 돼지에게 Pinkeye가 발견되었다.

Farm 5

위치	경기도 수원시	사육두수	200두
돈사크기	240.79m ²	두당면적	1.29m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	강제환기



- 느껴지는 악취의 정도가 심하진 않았지만, 주변에 거주지로 둘러싸여 있어 악취로 인한 민원의 대상이 되고 있다. 돈사는 슬러리 피트와 콘크리트가 함께 있으며, 콘크리트에는 깔개로 코코피트를 사용하며, 전반적인 돼지의 상태 양호 하였으나 조사 당시 깔개로 인해 먼지 발생이 심하였다.

Farm 6

위치	전라북도 정읍시	사육두수	400두
돈사크기	450m ²	두당면적	0.93m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	강제환기



- 돈방에 분변을 인력으로 하루 한번 청소하며, 슬러리는 피트에 짝 찰 경우 빼낸다. 돼지들에게서 Pinkeye 증세가 다수 보였으며, 내부의 공기 상태가 호흡하기 힘들 정도로 상당히 매캐하며 습도가 높아 천청에 물방울이 많이 맺혀있는 상태였다.

■ Farm 7

위치	전라북도 정읍시	사육두수	200두
돈사크기	220m ²	두당면적	0.96m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	강제환기



- 지어진지 1년 미만의 신축 돈사로 내외부 상태 매우 양호하였다. 특히 내부는 고압의 물로 바닥 및 벽면을 주기적으로 청소 후 죽초액 살포하여 위생상태가 양호하였다. 슬러리는 바닥면 기준 30cm 가량일 때 빼내며 조사당시 돼지가 비교적 편안한 상태로 누워있었다. 주변 100미터 이내에 민가가 없어 악취 민원은 없다.

■ Farm 8

위치	경상북도 영주시	사육두수	450두
돈사크기	520.8m ²	두당면적	0.95m ² /두
돈사형태	스크래퍼	환기방식	자연환기



- 조사당시 돈사 내에 돼지의 사육두수는 250마리, 깔개는 약간 량의 톱밥을 사용한다. 좌우 윈치커튼이 설치되어 있으며 밀폐도가 양호하다. 분뇨 고상물을 하루에 한번 인력으로 긁어내며 돼지의 상태가 전반적으로 양호하나 호흡기 질환이 많이 발생한다고 한다. 주변에 민가가 없어 악취 민원이 없다.

Farm 9

위치	경상북도 의성군	사육두수	350두
돈사크기	400m ²	두당면적	0.84m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	자연환기



- 윈치돈사로서 특히 외관이 낙후하며 조사당시 윈치커튼위에 부직포를 덮어 열손실을 최소화를 꾀하였다. 슬러리는 돼지 출하 후 빼내며 주변으로 발생하는 악취정도가 상당히 강한편이다. 전반적인 돼지의 활동성이 좋지 않으며, 거의 대부분 pinkeye 발견되었다. 습도가 높고 암모니아 발생으로 인한 내부 부식이 진행 중이며, 민가로부터 500m이상 떨어져 있어 악취 민원은 없다.

Farm 10

위치	경상북도 군위군	사육두수	480두
돈사크기	436.8m ²	두당면적	0.71m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	강제환기



- 돈사 양 벽면에 슬롯형 입기구와 두 개의 덕트를 설치하여 환기상태가 양호하다. 한 달에 한번 슬러리를 빼내며 돼지의 상태 전반적으로 양호하다. 100미터 이내 근거리엔 민가가 다수 있지만 악취 민원은 없다.

■ Farm 11

위치	경기도 여주군	사육두수	624두
돈사크기	424m ²	두당면적	0.63m ² /두
돈사형태	슬러리	환기방식	자연환기



- 돈사의 내 외부 상태가 전반적으로 낙후 되어 있지만, 비교적 내부의 환경관리 상태 양호하다. 돼지의 상태도 전반적으로 양호하며 슬러리는 1주일에 한 번씩 빼낸다. 100미터 이내에 민가가 없어 악취 민원은 없다.

■ Farm 12

위치	경기도 여주군	사육두수	900두
돈사크기	530m ²	두당면적	0.52m ² /두
돈사형태	톱밥	환기방식	자연환기



- 톱밥돈사로서 음용수의 유출은 최소화하여 톱밥의 상태 매우 양호하다. 깔개 교체주기는 두달에 한번 교체하며 주변 민가와와의 거리는 100미터 이상으로 악취로 인한 민원이 없다.

▶ 겨울시즌

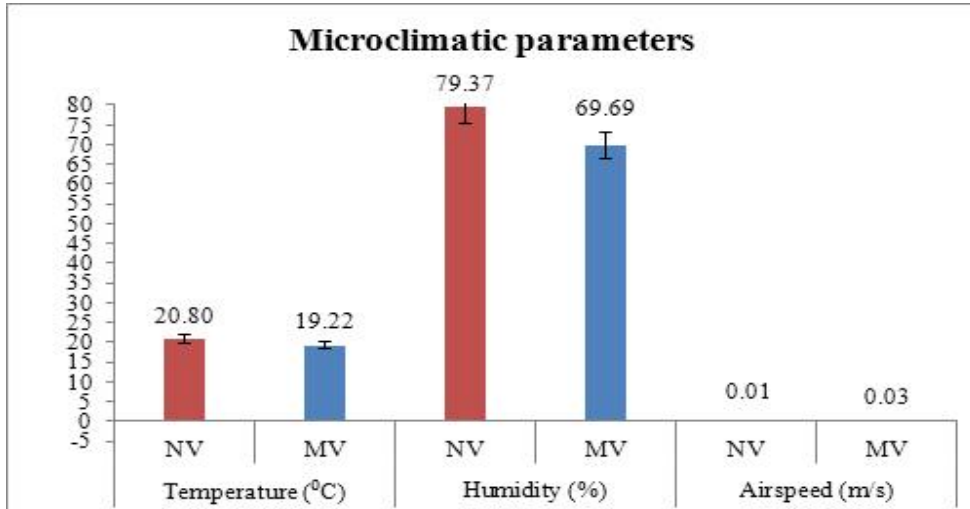
- [표-1]에는 모든 농장의 육성돈사 및 두 가지 시스템에 따른 미기후 변수에 대한 상세한 서술적 통계치가 나와 있다. 자연환기 시스템에 대한 평균온도 값은 20.80 °C이었고 강제환기 시스템에 대해서는 19.22 °C였다. 상대습도의 평균값은 자연환기 시스템에 대해서는 79.37%였고 강제환기 시스템에 대해서는 69.69%였다. 기속(氣速) 평균값은 자연환기 시스템에 대해서는 0.01m/s였고 강제환기 시스템은 0.03 m/s로 나타났다.

[표-1] 두 가지 상이한 환기유형이 설치된 육성돈사에서 겨울철에 배출된 미기후 변수의 분석에 대한 서술적 통계

Winter Season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Interquartile Range	Std. Error
Temperature (°C)										
	NV	20.80	19.05	18.34	4.28	15.65	26.90	11.25	8.20	1.11
	MV	19.22	21.73	32.44	5.70	8.80	27.03	18.23	9.50	1.24
Humidity (%)										
	NV	79.37	81.78	321.58	17.93	49.40	100.00	50.60	23.80	4.63
	MV	69.69	74.67	400.31	20.01	33.97	100.00	66.03	28.33	4.37
Airspeed (m/s)										
	NV	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.03	0.00
	MV	0.03	0.02	0.00	0.03	0.00	0.08	0.08	0.04	0.01

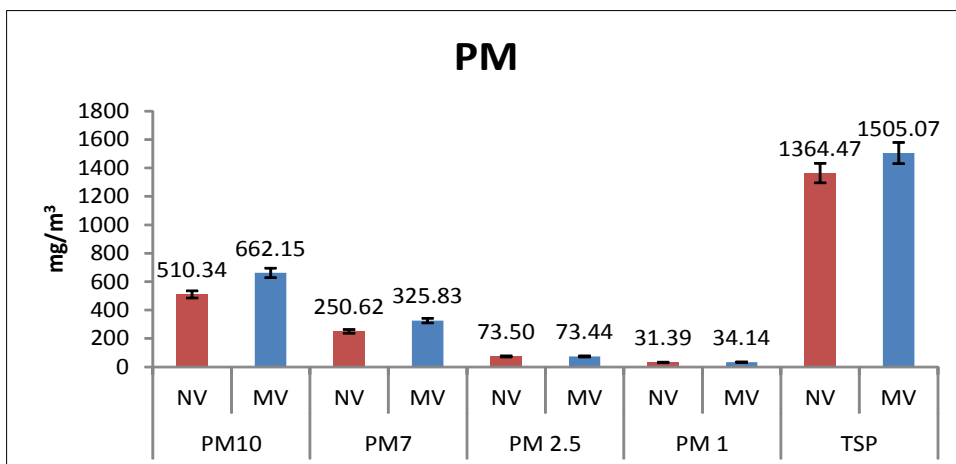
*NV=Natural ventilation system; MV=mechanical ventilation system

- 강제환기 시스템에서 온도는 두 가지 시스템 유형 중 가장 높았다 ([그림-1]). 높은 온도는 농장 관리자로 하여금 환기를 최대화시켜 육성돈의 대류열 손실을 증대시켰다. 그와는 반대로, 추운 겨울철에는 농장 관리자가 환기를 감소시켰고 온열기를 추가로 설치하였다.



[그림 123] 실험 중 수거된 시료의 미기후 변수를 보여주는 막대그래프

- 자연환기 시스템 내의 공기속도는 강제환기 시스템에 비해 낮았다. 공기속도는 증발에도 영향을 미치는데, 아마도 이 때문에 자연적 환기 시스템 내의 상대습도가 훨씬 더 컸을 것으로 사료된다. 또한, 시설 내 온도 및 상대습도는 각각 21.1 내지 26.7°C (Jones 및 Friday, 1980) 및 40 내지 70%(Mui 등, 2008)로 조성되는 것이 좋다. 공기속도에 대해서는, 겨울철 최대 공기 속도는 0.2 m/s(Wang 및 Wu, 1999)로 맞춰주는 것이 바람직하다. 돼지의 열중립 부위 내에서는, 정상 체온이 대략 39.0°C이며 표면 온도는 33.5 내지는 35.4°C이다(Esmay 및 Dixon, 1986).
- [표-2]에는 모든 농장의 육성돈사 및 두 가지 환기시스템에 따른 미립자 물질에 대한 상세한 서술적 통계치가 나와 있다. 육성돈사 내 공기 매개 미립자에 대한 평균값을 살펴보면, 계절적 요소가 PM의 농도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 강제환기 시스템 내 PM 10, PM 2.5, PM7, PM10 및 TSP의 농도는 자연환기 시스템보다 상대적으로 높는데, 이는 환기증가를 통해 상대적으로 더 큰 미립자를 제거하기가 훨씬 더 쉽기 때문이다. 그러나 겨울철에 농부들은 환기율을 감소시킨다. Takai 등은 이와 유사한 결과를 보고하였는데(1998), 그들은 돈사 내 분진 농도가 겨울에 더 크다는 것을 발견하였다.



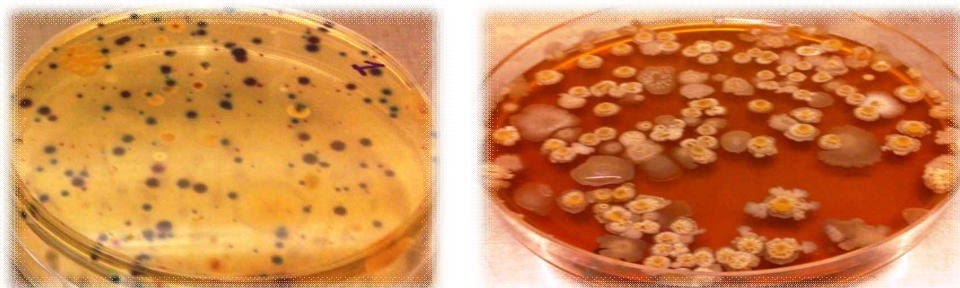
[그림 124] 실험 중 수거된 시료의 미립자 물질을 보여주는 막대그래프

- 하지만, 겨울철 내의 공기속도는 강제환기 시스템인데도 불구하고 낮았다. 공기 속도는 증발에도 영향을 미치는데, 아마도 이 때문에 겨울철 PM 10이 훨씬 더 컸을 것으로 사료된다.
- 대부분의 이전 연구들은 총 질량농도를 측정함으로써 미립자 정량분석을 하였다; 극히 적은 수의 연구만이 미립자를 농장 내 입자 크기와 관련해서 조사하였다. 입자크기는 호흡침전물에 영향을 미쳐서 결과적으로 상이한 유형의 건강문제를 초래하였다(Lee 등, 2006). 본 연구는 각기 다른 분진크기에 대한 정보를 제공해 주며, 이는 입자오염 및 건강에 미치는 영향에 대해 더욱 상세한 정보를 제공하려 한다.

[표-2] 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 육성돈사에서 겨울철에 배출된 미립자 물질 분석에 대한 서술적 통계

Parameters	System type	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Interquartile Range	Std. Error
PM10	NV	510.34	143.70	638337.59	798.96	0.00	2521.25	2521.25	397.70	206.29
	MV	662.15	630.75	326774.91	571.64	15.90	2240.70	2224.80	728.45	124.74
PM7	NV	250.62	108.05	95712.30	309.37	0.00	1097.30	1097.30	396.15	79.88
	MV	325.83	352.85	49207.80	221.83	12.65	737.30	724.65	372.85	48.41
PM 2.5	NV	73.50	56.55	3966.70	62.98	0.00	205.60	205.60	75.30	16.26
	MV	73.44	40.60	5164.39	71.86	8.95	241.75	232.80	65.45	15.68
PM 1	NV	31.39	33.30	530.81	23.04	0.00	85.80	85.80	17.85	5.95
	MV	34.14	20.10	1007.64	31.74	5.45	97.35	91.90	52.60	6.93
TSP	NV	1364.47	308.00	6318118.86	2513.59	0.00	8162.85	8162.85	612.05	649.01
	MV	1505.07	1083.05	1900731.51	1378.67	17.05	5255.45	5238.40	2072.50	300.85

- 본 연구결과는 PM 5 및 특히 PM 10에 대해 더 높은 값을 보여주는데, 이는 돼지분진이 폐(PM5)의 가스 교환 부위로 침투해 들어가 수 있으며, 성대(PM10) 윗부분에 영향을 미칠 수 있다는 것과 성대(PM10) 아래 부분에도 더 큰 영향을 미침으로써 질병을 발생시킬 수도 있음을 나타낸다(Vincent 및 Mark, 1981). Wathes와 그의 동료(1998)는 돈사에서 배출되는 흡입 가능한 분진이 겨울에는 40%가량 더 높지만 호흡 가능한 분진 배출량은 계절에 따라 크게 영향을 받지 않는다는 것을 발견하였다.
- 부유미생물의 농도를 육성돈 농장에서 측정하였다. 총 호기성 세균, 총 장내 세균 및 총 대장균 수를 측정하였는데 이로 인해 겨울철 육성 단계의 돈사 내 부유미생물을 개괄할 수 있게 되었다. [사진-3]은 조사 도중 돈사에서 탐지한 부유미생물 시료에 대한 사진들이다.



[그림-3] 한천 및 간장한천 위의 기생(氣生) 미생물 시료에 대한 사진

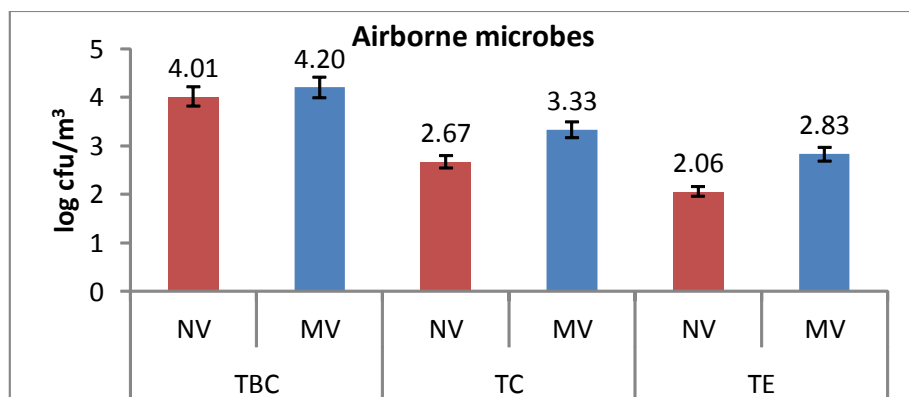
- 강제환기 시스템 농장 및 자연환기 시스템 농장에서 TAB의 평균 농도는 각각 4.20 및 4.01 log cfu/m³였다 ([그림-4]). 강제환기 시스템에서 TAB 농도가 자연환기 시스템에서보다 약간 더 높았지만 그것은 통계학적으로 유의미하지 못하였다. 본 연구에서 밝혀진 TAB의 평균 농도는 육성돈사에 대한 이전의 연구(Yao 등이, 2010)에서보다 더 높았다. 강제환기 시스템 농장 및 자연환기 시스템 농장 내 총 장내 세균의 평균 농도는 각각 2.78 및 3.32 log cfu/m³이었다. 강제환기 시스템 농장 및 자연환기 시스템 농장 내 총 대장균의 평균 농도는 각각 2.19 및 2.82 log cfu/m³이었다. 본 연구에서 발견한 총 대장균의 평균 농도는 Yao 등이 실시한 이전의 연구(2010)의 결과와 일치하였다.

[표-3] 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 육성돈사에서 겨울철에 배출된 공기 매개 미생물의 분석에 대한 서술적 통계

Winter season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Interquartile Range	Std. Error
TBC	NV	4.01	4.12	0.19	0.44	2.99	4.48	1.49	0.39	0.11
	MV	4.20	4.20	0.01	0.12	3.81	4.39	0.58	0.12	0.03
TC	NV	2.67	2.88	1.38	1.17	0.00	3.79	3.79	0.92	0.30
	MV	3.33	3.48	0.27	0.52	2.40	4.02	1.62	1.07	0.11
TE	NV	2.06	2.48	1.87	1.37	0.00	3.48	3.48	3.32	0.35
	MV	2.83	3.17	0.69	0.83	0.00	3.51	3.51	0.92	0.18

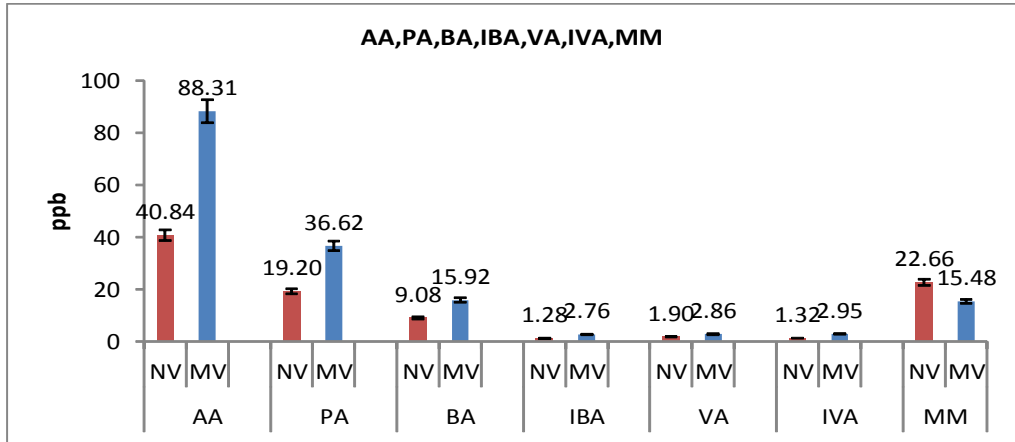
*NV=Natural ventilation system; MV=mechanical ventilation system

- 종합해보면, 강제환기 시스템에서는 TAB의 평균 농도, 총 장내 세균 및 총 대장균이 약간 더 높았지만 큰 차이는 발견되지 않았다. [표-3]은 겨울철에 두 가지 상이한 환기 시스템을 설치한 농장들로부터 나온 서술적 데이터(최소, 최대, 평균, 표준 오차 및 표준 편차)이다.



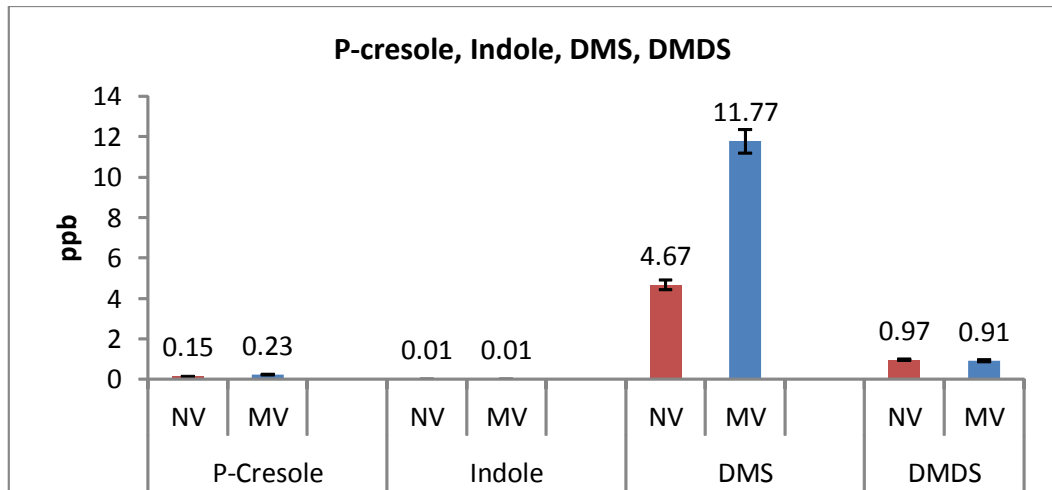
[그림-4] 실험 중 수거된 시료의 부유미생물을 보여주는 막대그래프

- [표-4]는 방문농장에서 측정된 환기 시스템에 따른 악취 화합물 및 온실가스의 평균농도를 보여준다. 휘발성 지방산은 바닥 아래에서 혐기성 미생물이 돼지분뇨를 분해할 때 주로 생성된다.



[그림-5] 실험 중 수거된 시료의 약취 화합물 분석

- 자연적 시스템 및 강제 시스템에서 겨울철 VFA의 농도 범위는 각각 AA에 대해선 40.84 & 88.31 ppb, PA에 대해선 19.20 & 36.62 ppb, i-BA에 대해선 9.08 & 15.92 ppb, BA에 대해선 1.28 & 2.76 ppb, i-VA에 대해서는 1.32 & 2.95 그리고 VA에 대해서는 1.92 & 2.86 ppb, MM에 대해선 22.66 & 15.48 ppb, p-크레졸에 대해선 0.15 & 0.23ppb, 인돌에 대해선 0.01&0.01 ppb, DMS에 대해선 4.67 & 11.77 ppb, DMDS에 대해선 0.97 & 0.91 ppb이었다([그림 5, 6]).



[그림-6] 실험 중 수거된 시료의 약취화합물 분석

- 휘발성 지방산은 바닥 아래에서 혐기성 미생물이 돼지 분뇨를 분해할 때 주로 생성되거나 분뇨 분해와 더불어 깔개로부터 생성된다. 자료([표-4])를 보면, VFA의 농도는 자연환기 시스템에서는 더 낮다는 것을 쉽게 발견할 수 있다. 아마도 환기 및 온도의 영향으로 해석되나 육성 돈사에서 약취 화합물의 농도가 변하는 데는 두 가지 주요한 이유로 나뉘질 수 있다. 하나는 계절에 따른 각기 다른 환기율이고 다른 하나는 온도에 따른 돼지의 활성화도이다. 더운 기후에서는, 돼지가 시간의 63 내지 95 %를 휴식하는 데 소비하는 데 휴식 시간에는 열 생산이 감소한다.

[표-4] 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 상이한 육성 돈사에서 겨울철에 배출된 약취 화합물의 분석에 대한 서술적 통계

Parameters	System type	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Interquartile Range	Std. Error
AA	NV	40.84	18.62	3599.19	59.99	0.00	210.88	210.88	76.37	15.49
	MV	88.31	56.31	7112.48	84.34	5.07	319.00	313.92	113.53	18.40
PA	NV	19.20	3.56	1123.07	33.51	0.00	95.65	95.65	15.03	8.65
	MV	36.62	14.02	1924.60	43.87	0.75	150.66	149.91	72.89	9.57
BA	NV	9.08	1.64	246.57	15.70	0.00	52.12	52.12	9.20	0.59
	MV	15.92	5.47	444.31	21.08	0.00	72.76	72.76	27.02	0.64
IBA	NV	1.28	0.00	5.26	2.29	0.00	8.31	8.31	2.36	4.05
	MV	2.76	1.13	8.50	2.92	0.00	8.07	8.07	5.47	4.60
VA	NV	1.90	0.10	13.57	3.68	0.00	12.70	12.70	1.52	0.65
	MV	2.86	0.82	20.37	4.51	0.00	14.61	14.61	3.71	0.66
IVA	NV	1.32	0.22	6.26	2.50	0.00	9.29	9.29	1.41	0.95
	MV	2.95	1.67	9.08	3.01	0.00	8.85	8.85	5.56	0.98
MM	NV	22.66	10.92	1215.26	34.86	0.00	123.03	123.03	31.73	0.06
	MV	15.48	11.43	294.00	17.15	0.00	60.79	60.79	24.50	0.08
P-Cresol	NV	0.15	0.00	0.06	0.25	0.00	0.73	0.73	0.29	0.01
	MV	0.23	0.00	0.12	0.34	0.00	1.05	1.05	0.45	0.00
Indole	NV	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.11	0.11	0.00	9.00
	MV	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.06	0.00	3.74

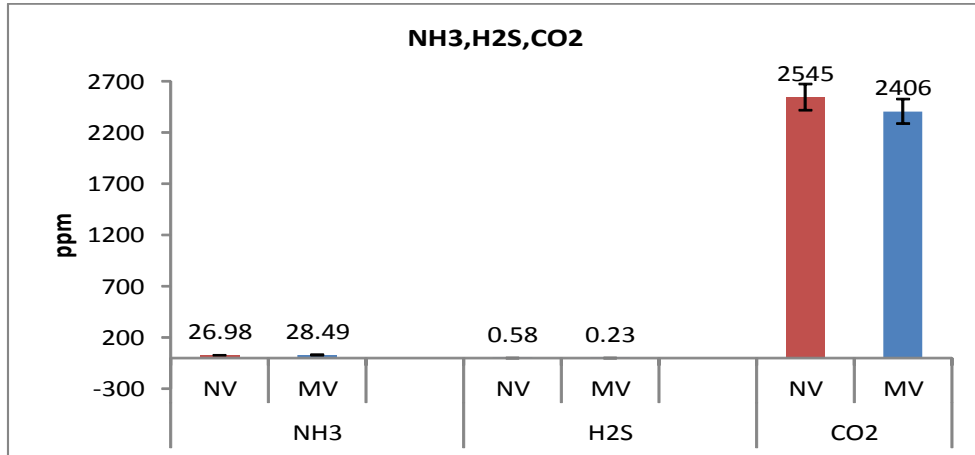
*NV=Natural ventilation system; MV=mechanical ventilation system

- 암모니아에 관해서, 시간 가중 평균의 임계 값은 25 mg/L이다(ACGIH, 2004). 현장실험에 의하면, 암모니아 농도는 시간 가중 평균의 임계 값보다 낮았으며 자연환기 시스템은 26.98 ppm 그리고 강제환기 시스템은 28.49 ppm로 나타났다. 몇몇 다른 이전의 연구에 의하면, 돈사 내 암모니아의 농도는 6.00 내지 12.59 mg/L였는데(Radon 등, 2002; Kim 등, 2005; Hayes 등, 2006), 이것은 본 연구의 결과와 유사하다.

[표-5] 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 상이한 육성 돈사에서 겨울철에 배출된 악취 화합물 및 온실 가스의 분석에 대한 서술적 통계

Winter season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Interquartile Range	Std. Error
NH3	NV	26.98	30.90	248.81	15.77	7.25	49.40	42.15	30.80	4.07
	MV	28.49	12.50	759.56	27.56	1.50	76.00	74.50	52.98	6.01
H2S	NV	0.58	0.52	0.23	0.48	0.00	1.50	1.50	0.80	0.12
	MV	0.23	0.18	0.07	0.27	0.00	0.88	0.88	0.34	0.06
CO2	NV	2545	2950	1501498	1225	925	4400	3475	2300	316.39
	MV	2406	2820	2241250	1497	335	5750	5415	2303	326.69

- [표-5]에 담긴 정보는 육성돈사의 악취 및 온실가스 결과를 나타낸다. 예상했던 대로, 두 가지 시스템에서의 GHG 농도는 자연환기 시스템에서 더 낮게 나타났다. 본 연구에서 CO₂의 범위는 자연환기 시스템의 경우 약 2545 ppm이었고 강제환기 시스템의 경우 2406 ppm이었다([그림-7]).



[그림-7] 실험 중 수거된 시료의 악취화합물 및 온실가스분석

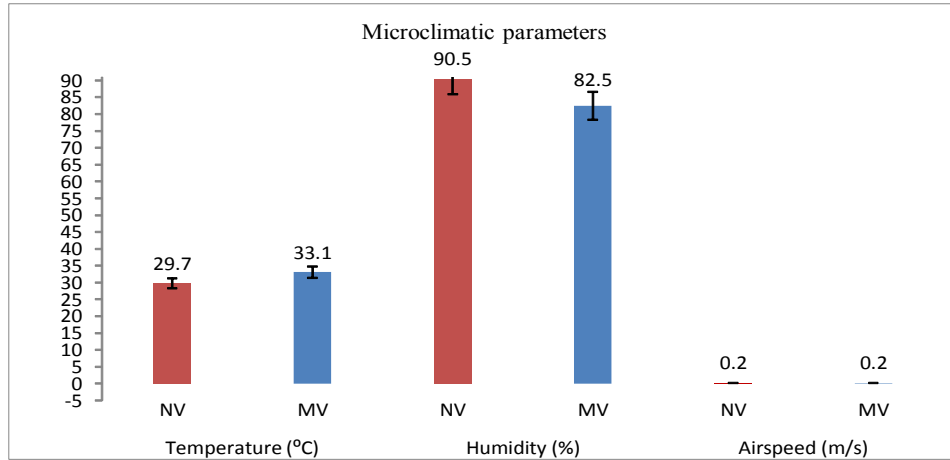
▶ 여름시즌

- 여름 시즌 및 두 가지 시스템에 따른 모든 농장의 육성 돈사 내 미기후 변수의 평균 값을 알아보았다. 자연환기 시스템의 온도는 29.7°C였으며 강제환기 시스템의 온도는 33.1°C였다. 상대습도의 평균값은 자연환기 시스템에 대해서는 90.5 %였으며 강제환기 시스템에 대해서는 82.5 %였다. 기속의 평균은 자연환기 시스템에 대해서는 0.02m/s였으며 강제 환기 시스템에 대해서는 0.02 m/s였다. 미기후 변수의 서술적 통계는 [표-6]에 나와 있다.

[표-6] 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 육성돈사에서 겨울철에 배출된 공기 매개 미생물의 분석에 대한 서술적 통계

Summer Season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min	Max	Range	Interquartile Range	Std. Error
Temperature (°C)	NV	29.7	26.9	18.6	4.3	26.4	36.2	9.8	8.8	1.4
	MV	33.1	31.3	12.9	3.6	29.3	39.4	10.1	6.9	1.1
Humidity (%)	NV	90.5	100.0	228.7	15.1	62.6	100.0	37.4	26.9	4.8
	MV	82.5	77.9	137.7	11.7	61.6	100.0	38.4	16.2	3.5
Airspeed (m/s)	NV	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.7	0.6	0.2	0.1
	MV	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0

- 온도는 강제환기 시스템일 경우 가장 높았다. 높은 온도로 인해 농장 관리자가 환기를 최대화시켜서 육성돈의 대류 열 손실을 증대시키기 때문에 두 가지 시스템 간에 겨울철 온도에 큰 차이가 없게 된다.

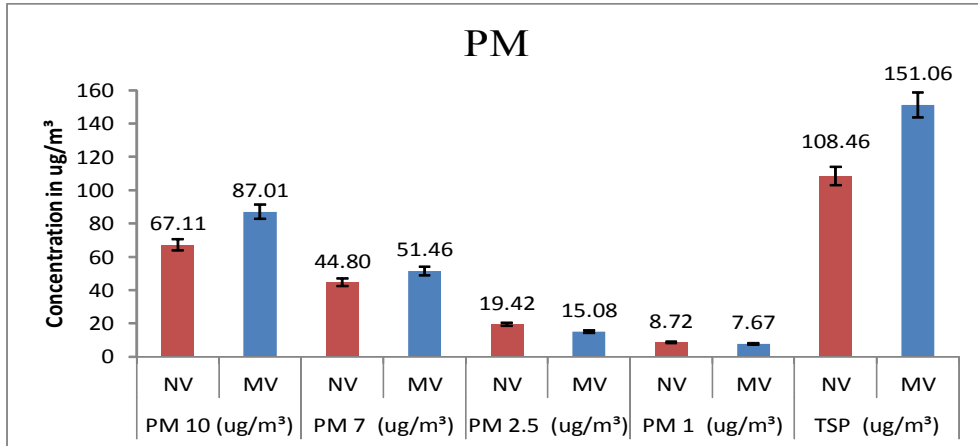


[그림-8] 실험 중 수거된 시료의 미기후 변수를 보여주는 막대그래프

- 하지만, 여름철 공기속도는 두 가지 시스템에서 모두 유사하였다. 돈사의 온도 및 상대습도는 각각 21.1 내지 26.7°C (Jones 및 Friday, 1980), 40 내지 70%(Mui 등, 2008)로 조성되는 것이 바람직하다. 공기속도와 관련해서, 겨울철 최대 공기 속도는 0.2 m/s이 좋다(Wang 및 Wu, 1999). 돼지의 열 중립 부위 내에서는, 정상 체온이 대략 39.0°C이고 표면 온도는 33.5 내지 35.4°C이다(Esmay 및 Dixon, 1986).
- [표-6]는 육성 돈사 내 공기 매개 미립자 물질의 평균값을 보여준다. PM 2.5 및 PM1과 관련해서는, 계절이 PM의 농도에 영향을 미치는 것으로 보인다. 강제환기 시스템 내 PM7, PM10 및 TSP의 농도는 두 가지 시스템 모두에서 높았다. 환기가 증가될 때 더 큰 미립자를 돈사로부터 제거하는 것이 상대적으로 더 쉬워지기 때문인 것으로 해석된다.

[표-7]. 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 육성돈사에서 여름철에 배출된 공기 매개 미립자 물질의 분석에 대한 서술적 통계

Summer Season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min	Max	Range	Interquartile Range	Std. Error
PM ₁₀ (ug/m ³)	NV	67.11	64.03	332.45	18.23	39.65	96.65	57.00	32.46	5.77
	MV	87.01	96.10	933.01	30.55	53.95	143.25	89.30	48.30	9.21
PM ₇ (ug/m ³)	NV	44.80	40.23	203.36	14.26	29.05	76.00	46.95	17.79	4.51
	MV	51.46	36.70	658.67	25.66	28.40	115.40	87.00	32.75	7.74
PM _{2.5} (ug/m ³)	NV	19.42	15.10	114.09	10.68	7.55	36.75	29.20	20.29	3.38
	MV	15.08	14.95	24.47	4.95	7.70	23.85	16.15	3.80	1.49
PM ₁ (ug/m ³)	NV	8.72	9.00	23.21	4.82	0.75	14.95	14.20	8.49	1.52
	MV	7.67	7.50	23.95	4.89	0.70	19.00	18.30	3.00	1.48
TSP (ug/m ³)	NV	108.46	101.23	1837.68	42.87	51.85	189.05	137.20	60.34	13.56
	MV	151.06	130.65	4364.99	66.07	69.35	319.40	250.05	72.50	19.92



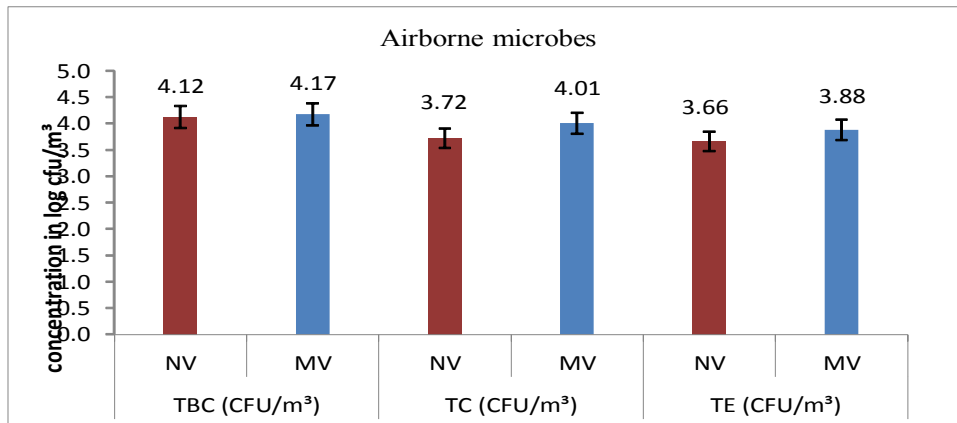
[그림-9]. 채취된 돈사 내 공기샘플의 PM (particulate matter) 막대그래프

- 본 연구결과는 PM 5 및 특히 PM 10에 대해 더 높은 값을 보여주는데, 이는 위에서 언급되었듯이 돼지분진이 폐(PM5)의 가스 교환 부위로 침투해 들어가 수 있으며, 성대(PM10) 윗부분 및 아래 부분에 영향을 미침으로써 질병을 발생시킬 수도 있음을 나타낸다(Vincent 및 Mark, 1981).
- 한국의 여름(6월 ~ 8월)은 6월 말 경부터 7월 중순 내지 하순까지 지속되는 장마 때문에 상대적으로 습하고 무덥다. 장마철 시작과 끝 사이에 때때로, 전혀 비가 오지 않기도 한다. 하절기 온도는 33°C를 넘기도 하며 6월과 9월 사이의 평균온도는 20°C가 된다. 강제 환기 시스템 농장 및 자연적 환기 시스템 농장 내 TAB의 평균 농도는 각각 4.12 및 4.17 log cfu/m³ 였다.
- 강제환기 농장 및 자연환기 농장 내 총 장내 세균의 평균 농도는 각각 3.72 및 4.01 log cfu/m³이었다([표-8]). 강제환기 시스템 농장 및 자연환기 시스템 농장 내 총 대장균의 평균 농도는 각각 3.66 및 3.88 log cfu/m³이었다([그림-10]). 겨울철과 비교해 볼 때, 총 장내 세균 및 대장균의 평균 농도는 증가하였는데 이런 결과는 Yao 등이 실시한 연구와 일치한다(2010). [표-8]은 여름철에 두 가지 상이한 환기 시스템을 설치한 농장들로부터 나온 서술적 데이터(최소, 최대, 평균, 표준 오차 및 표준 편차)를 보여주고 있다.

[표-8]. 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 육성돈사에서 여름철에 배출된 공기 매개 미생물의 분석에 대한 서술적 통계

Summer Season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min	Max	Range	Interquartile Range	Std. Error
TBC (CFU/m ³)	NV	4.12	4.13	0.00	0.04	4.04	4.17	0.13	0.06	0.01
	MV	4.17	4.17	0.00	0.06	4.07	4.25	0.18	0.08	0.02
TC (CFU/m ³)	NV	3.72	3.53	0.25	0.50	3.18	4.37	1.19	1.10	0.16
	MV	4.01	4.29	0.30	0.55	3.02	4.39	1.37	1.08	0.16
TE (CFU/m ³)	NV	3.66	3.60	0.10	0.32	3.26	4.09	0.83	0.69	0.10
	MV	3.88	3.96	0.07	0.27	3.45	4.17	0.72	0.55	0.08

- 종합해보면, 강제환기 시스템에서는 TAB의 평균 농도, 총 장내 세균 및 총 대장균이 약간 더 높았지만 큰 차이는 발견되지 않았다.

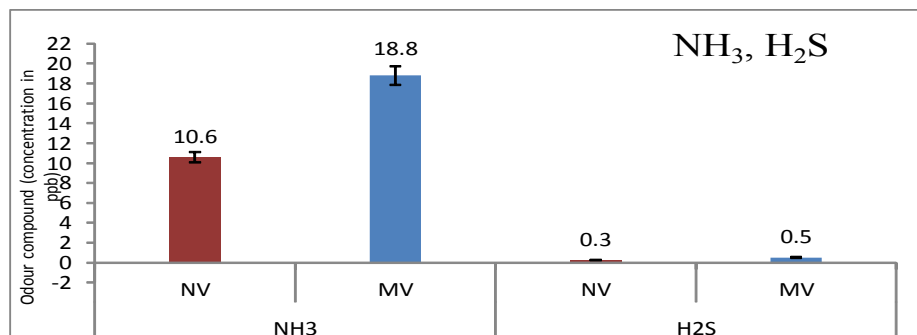


[그림-10]. 실험 중 수거된 샘플의 부유미생물을 보여주는 막대그래프

- 암모니아에 관해서, 시간 가중 평균의 임계값은 25 mg/L이다(ACGIH, 2004). 현장 실험에 의하면, 암모니아 농도는 모두 시간 가중 평균의 임계값보다 낮았으며 여름철 두 가지 환기 시스템에 대해서는 그 범위가 10.6 ppm 내지 18.8이었다([표-9]). 몇몇 다른 이전의 연구에 의하면, 돈사 내 암모니아의 농도는 6.00 내지 12.59 mg/L였는데(Radon 등, 2002; Kim 등, 2005; Hayes 등, 2006), 이것은 본 연구의 결과와 유사하다.

[표-9]. 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 육성돈사에서 여름철에 배출된 악취 화합물 및 온실 가스의 분석에 대한 서술적 통계

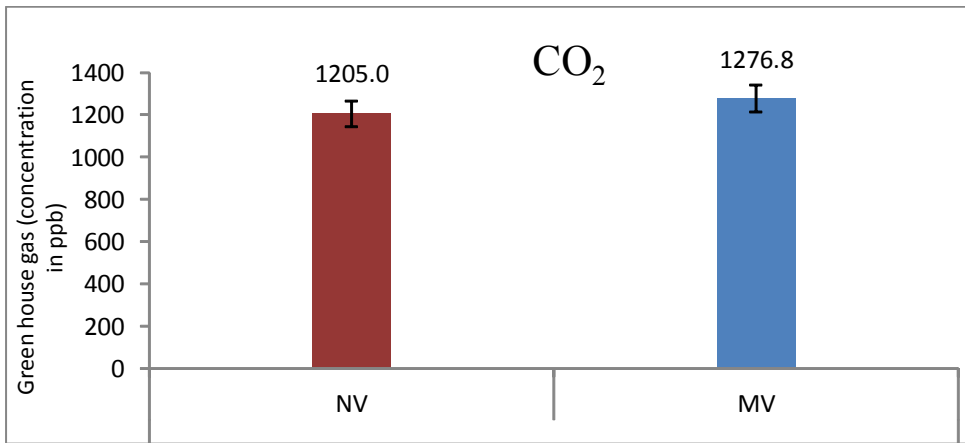
Summer Season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min	Max	Range	Interquartile Range	Std. Error
NH3 (ppm)	NV	10.6	7.6	55.9	7.5	3.3	28.0	24.8	9.6	2.4
	MV	18.8	20.5	205.0	14.3	1.3	39.5	38.3	28.5	4.3
H2S (ppm)	NV	0.3	0.3	0.0	0.2	0.0	0.5	0.5	0.5	0.1
	MV	0.5	0.3	0.3	0.6	0.0	1.4	1.4	1.2	0.2
CO2 (ppm)	NV	1205	1045	143679	379	760	1837	1077	725	119
	MV	1276	1150	221856	471	630	2080	1450	825	142



[그림-11]. 실험 중 수거된 시료의 악취화합물 분석

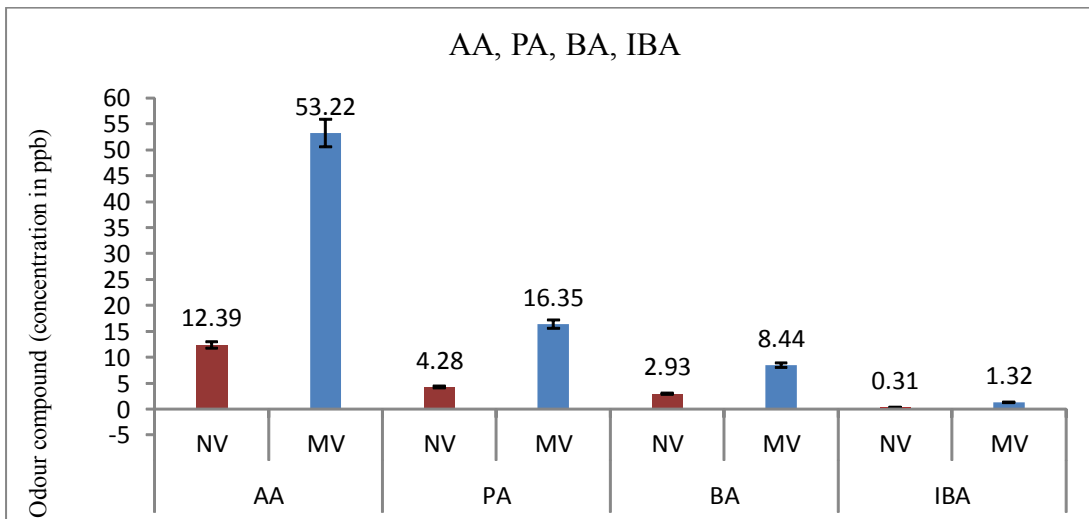
- [그림-12]를 살펴보면 예상했던 대로, 두 가지 시스템에서의 GHG 농도는 자연환기 시스템에서 계절적 변화를 보였다. 즉, 더운 여름에 더 낮았고 서늘하거나 추운 겨울에는 더 높았다. 자세한 계절적 비교는 다음 장에서 다루게 된다. 본 연구에서 발견한 여름철 CO₂의 범위는 자연적 환기 시스템의 경우 약 1,276 ppm이었고 강제

환기 시스템의 경우 1,205 ppm이었다.



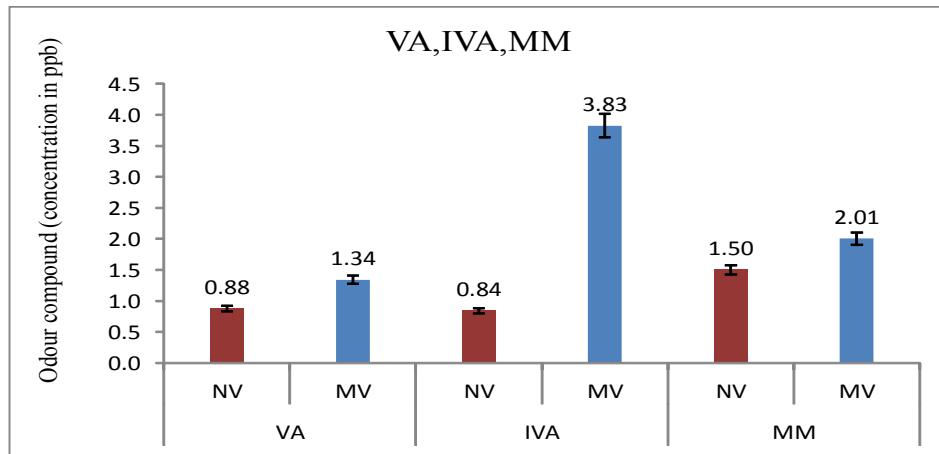
[그림-12] 실험 중 수거된 시료 위의 온실 가스를 보여주는 막대그래프

- 농장 내 약취 화합물의 평균 농도를 다른 환기시스템에 따라 비교분석해보았다. 휘발성 지방산은 바닥 아래에서 혐기성 미생물이 돼지 분뇨를 분해할 때 주로 생성된다.



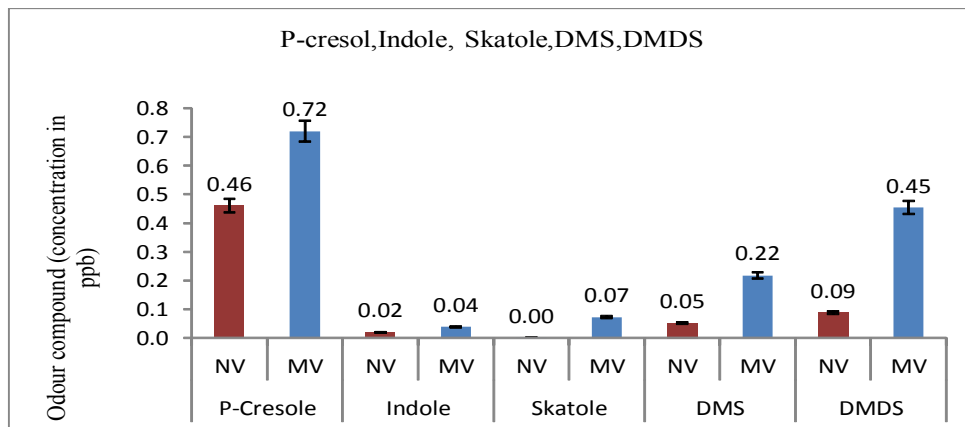
[그림-13] 실험 중 수거된 시료 위의 약취 화합물을 보여주는 막대 그래프

- 자연 및 강제환기 시스템에서 겨울철 VFA의 농도 범위는 각각 AA에 대해선 53.22 & 12.39 ppb, PA에 대해선 16.35 & 4.28 ppb, i-BA에 대해선 0.31 & 1.32 ppb, BA에 대해선 2.93 & 8.44 ppb, i-VA에 대해서는 1.32 & 2.95 그리고 VA에 대해서는 0.88 & 1.34 ppb, MM에 대해선 0.84 & 3.83 ppb, p-크레졸에 대해선 1.50 & 2.01 ppb, 인돌에 대해선 0.02 & 0.04 ppb, DMS에 대해선 4.67 & 11.77, DMDS에 대해선 0.05 & 0.45 ppb이었다([그림-13,14,15]).



[그림-14] 실험 중 수거된 시료의 악취 화합물을 보여주는 막대그래프

- 휘발성 지방산은 바닥 아래에서 혐기성 미생물이 돼지 분뇨를 분해할 때 주로 생성되거나 분뇨 분해와 더불어 깔개로부터 생성된다. 데이터([표-10])를 보면, VFA의 농도는 자연환기 시스템에서 더 낮다는 것을 발견할 수 있다. 이는 환기 및 온도 때문일 것으로 사료된다. 더 높은 환기율은 더 많은 악취를 돈사로부터 제거하겠지만, 온도가 증가하면 미생물의 활성이 높아져서 기질이 더 쉽게 분해될 것이며 또 높은 온도 하에서는 휘발성 산의 가용성도 증가하게 될 것이다.



[그림-15] 실험 중 수거된 시료 위의 악취 화합물을 보여주는 막대 그래프

[표-10] 두 가지 상이한 환기 시스템이 설치된 상이한 육성 돈사에서 여름철에 배출된 악취 화합물의 분석에 대한 서술적 통계

Summer Season	System type	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min	Max	Range	Interquartile Range	Std. Error
AA (ppb)	NV	12.39	11.29	92.97	9.64	1.79	36.52	34.73	9.04	3.05
	MV	53.22	33.36	2613.64	51.12	4.29	149.65	145.36	91.09	15.41
PA (ppb)	NV	4.28	3.94	9.98	3.16	0.16	11.01	10.85	4.69	1.00
	MV	16.35	11.23	235.60	15.35	1.36	54.67	53.31	18.60	4.63
BA (ppb)	NV	2.93	2.91	3.01	1.74	0.57	5.32	4.75	3.33	0.55
	MV	8.44	8.08	30.45	5.52	1.05	19.76	18.70	8.38	1.66
IBA (ppb)	NV	0.31	0.10	0.16	0.40	0.00	1.11	1.11	0.71	0.13
	MV	1.32	0.58	3.63	1.91	0.01	6.71	6.70	1.68	0.57
VA (ppb)	NV	0.88	0.57	1.15	1.07	0.08	3.70	3.62	6.32	0.34
	MV	1.34	0.91	1.40	1.18	0.23	4.64	4.41	0.84	0.36
IVA (ppb)	NV	0.84	0.67	0.37	0.61	0.22	1.91	1.69	0.96	0.19
	MV	3.83	1.20	29.95	5.47	0.17	18.25	18.08	6.65	1.65
P-Cresol (ppb)	NV	0.46	0.33	0.16	0.40	0.07	1.07	1.01	0.77	0.13
	MV	0.72	0.72	0.07	0.27	0.21	1.10	0.89	0.37	0.08
Indole (ppb)	NV	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05	0.05	0.03	0.01
	MV	0.04	0.03	0.00	0.03	0.00	0.10	0.10	0.08	0.01
Skatole (ppb)	NV	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
	MV	0.07	0.00	0.02	0.14	0.00	0.45	0.45	0.15	0.04
MM (ppb)	NV	1.50	0.99	2.87	1.69	0.00	5.36	5.36	1.85	0.54
	MV	2.01	1.73	1.07	1.03	0.87	4.57	3.70	1.43	0.31
DMS (ppb)	NV	0.05	0.03	0.00	0.06	0.00	0.20	0.20	0.08	0.02
	MV	0.22	0.12	0.04	0.21	0.00	0.60	0.60	0.40	0.06

▶ 겨울과 여름의 비교분석

- [표-11]은 두 계절에 걸친 육성 돈사 내 미기후 변수의 평균 수준을 보여준다. 미기후 변수는 계절에 따라 상당한 차이(P < 0.05)를 보였다. 두 계절 중 여름철에는 온도, 상대습도 및 공기속도가 모두 가장 높았는데(P < 0.05), 이 때 농장 관리자는 환기를 최대화시켜서 육성돈의 대류 열 손실을 증대시켰다. 그와는 반대로, 추운 겨울철에는 농장 관리자가 환기를 감소시켰고 온열기를 추가로 설치하였다.

[표-11] 계절에 따른 그리고 두 계절 전반에 걸친 돼지 육성 돈사 내 미기후 변수의 계절적 평균 (±SD)

Variable	Temperature, °C	Relative humidity, %	Air speed, m/s
Season ²			
Winter	19.6 (± 5.6) ^a	73.7 (± 19.5) ^a	0.02 (± 0.02) ^a
Summer	31.5 (± 4.2) ^b	86.2 (± 13.7) ^b	0.2 (± 0.15) ^b
P-value ³	< 0.000	< 0.012	< 0.000
Both seasons ⁴	23.9 (± 7.7)	78.3 (± 18.5)	0.09 (± 0.13)

- a-b 상이한 첨자가 달린 동일한 컬럼 내 계절 평균은 서로 다르다(p < 0.005).
- 데이터는 한국의 6개지역에 소재하는 12개 상업적 돼지 농장의 산술 평균 ±SD를 나타낸다
- 본 연구에서, 겨울 (12월 -1월) 및 여름 (6월 - 7월)
- 각 변수에 대해, 두 계절 간 평균의 유의성을 결정하기 위해 P-값이 쓰였다.
- 각 변수에 대해, 연중 제공된 모든 데이터를 가지고 산술 평균 ±SD를 계산하였다.
- 겨울철의 공기 속도는 여름철의 기속(P < 0.05)보다 더 낮았는데, 이는 공기 속도가 증발에도 영향을 미쳤기 때문이다. 여름철 상대습도는 겨울철에 비해 더 높았는데 그 이유 중 한 가지는 한국의 고온다습한 기후적 요인이 중요한 역할을 한 것으로

사료된다.

- PM2.5 및 PM1, 및 PM7과 관련해서, 계절은 PM의 농도에 상당히 영향을 미쳤다($P < 0.005$). 두 계절 중에서 여름철에는 PM10, 및 TSP의 농도가 가장 낮았는데 ($P < 0.001$ 및 0.003) 이는 환기 증가를 통해 상대적으로 더 큰 미립자를 돈사로부터 제거하기가 훨씬 더 쉽기 때문이다(표 14). Takai 등은 이와 유사한 결과를 보고하였는데(1998), 그들은 돈사 내 분진 농도가 여름철에 비해 겨울에 더 크다는 것을 발견하였다.

[표-12] 계절에 따른 그리고 두 계절 전반에 걸친 돼지 육성돈사 내 미립자 물질 (PM) 및 부유미생물의 계절적 평균 (\pm SD)

Item ²	Winter	Summer	Both seasons	P- value ³
PM, ug/m³				
PM10	598.89 (\pm 669.1)a	77.53 (\pm 26.8)b	406.8 (\pm 586.9)	0.001
PM 7	294.49 (\pm 260.4)a	48.28 (\pm 20.7)b	203.78 (\pm 238.5)	0.000
PM2.5	73.46 (\pm 67.3)a	17.14 (\pm 8.2)b	52.71 (\pm 60.0)	0.000
PM1	32.99 (\pm 28.1)a	8.17 (\pm 4.7)b	23.85 (\pm 25.4)	0.000
TSP	1446.48 (\pm 1902.1)a	130.77 (\pm 59.0)b	961.75 (\pm 1634.83)	0.003
Airborne microbe, log (cfu/m³)				
TAB	4.12 (\pm 0.30)	4.14 (\pm 0.05)	4.13 (\pm 0.24)	0.678
TC	3.05 (\pm 0.90)a	3.87 (\pm 0.53)b	3.35 (\pm 0.87)	0.000
TE	2.50 (\pm 1.13)a	3.77 (\pm 0.30)b	2.97 (\pm 1.10)	0.000

- a-b 상이한 첨자가 달린 동일한 컬럼 내 계절 평균은 서로 다르다($p < 0.005$).
 - 데이터는 한국의 6개 도에 소재하는 12개 상업적 돼지 농장의 산술 평균 \pm SD을 나타낸다.
 - PM 10=평균 공기역학적 직경 $< 10 \mu\text{m}$; PM 7=평균 공기역학적 직경 $< 7 \mu\text{m}$; PM 2.5=평균 공기역학적 직경 $< 2.5 \mu\text{m}$; PM 1=평균 공기역학적 직경 $< 1 \mu\text{m}$; TSP=총 중단된 부분; TAB= 총 세균 수; TC=총 장내 세균; TE=총 대장균 .
 - 각 변수에 대해, 두 계절 간 평균의 유의성을 결정하기 위해 P-값이 쓰였다.
- 육성돈사 내 총 부유미생물의 평균 농도는 겨울철에는 $4.12 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 였으며 여름철에는 $4.14 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 였다. Kim 등(2008)은 한국의 돈사에서는 총 부유미생물의 농도 [$4.13 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$]가 유사하다는 것을 발견하였다. 본 연구에서 발견한 부유미생물의 장내 세균 및 대장균은 각각 3.05 내지 $3.87 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 및 2.05 내지 $3.77 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 의 범위에 있었다. 게다가, 장내 세균 및 대장균의 농도는 모두 겨울철보다는 여름철에 더 컸다($P < 0.05$). 계절이 장내 세균 및 대장균의 농도에 상당히 영향을 미친 것으로 나타났다($P < 0.05$).
 - 육성 돈사 내 악취 화합물 및 온실 가스의 평균 농도를 여름과 겨울시즌에 따라 측정했는데, 주요 악취 화합물 중 계절에 따른 변화가 큰 것은 거의 없었다($P < 0.005$). DMS 및 DMDS의 농도 범위는 각각 겨울철에는 8.18 ppb , 여름철에는 0.14 ppb , DMDS의 경우 겨울철에는 0.28 ppb 이었고 여름철에는 0.94 ppb 이었다. 겨울철 DMS 농도가 여름철보다 더 높았다. 흥미롭게도 DMDS의 농도는 겨울철보다는 여름철에 더 높았다. 겨울철과 여름철의 질소 악취 화합물 농도를 살펴보면, 인돌은 0.01 & 0.03 ppb , 스카톨은 0 & 0.04 ppb , 그리고 p-크레졸은 0.19 & 0.60 ppb 의 계절적 차이를 보였다.

이런 분변 화합물 및 자극성 악취 화합물은 악취한계점이 매우 낮을 뿐만 아니라 낮은 수준의 악취 화합물에 의해서도 추가적 또는 상승적 효과가 있다는 사실이 발견되었다(Schiffman 등, 2001). 가장 높은 농도의 p-크레졸은 겨울철에 발견되었다($P < 0.05$). 그 이유는 겨울동안의 낮은 환기율이 육성 돈사 내 악취 화합물에 대한 제거효율을 낮췄기 때문일 것으로 사료된다. 하지만, 본 연구에서 측정된 인돌 및 스키타톨의 평균 농도는 Steven 등(2008)이 보고한 바와 동일하였다.

- 겨울철과 여름철 VFA의 농도 범위는 각각 AA에 대해서는 68.53 & 33.78 ppb, PA에 대해서는 29.36 & 10.60 ppb, i-BA에 대해서는 2.14 & 0.84 ppb, BA에 대해서는 13.07 & 5.82 ppb, i-VA에 대해서는 2.27 & 2.41 그리고 VA에 대해서는 2.46 & 1.12 ppb, MM에 대해서는 18.47 & 1.77 ppb([표-13])였다. 휘발성 지방산은 박판 바닥 아래에서 혐기성 미생물이 돼지 분뇨를 분해할 때 주로 생성된다. 데이터(표 3)를 보면, VFA의 농도는 다른 계절보다는 여름철에 상당히 더 낮다는 것을 쉽게 발견할 수 있다. 그 이유는 환기 및 온도 때문일 것이다. 더 높은 환기율은 더 많은 악취를 돈사로부터 제거하겠지만, 온도가 증가하면 미생물의 활성이 높아져서 기질분해가 증가하며 결과적으로 높은 온도 하에서는 휘발성 산의 가용성도 증가하게 될 것이다.
- 육성돈사에서 악취 화합물의 농도가 변하는 데는 두 가지 주요한 이유가 있을 것이다. 첫째로, 계절마다 환기율이 상이하기 때문이다. 둘째로, 상이한 온도에서는 돼지의 활성도 상이해진다. 더운 기후에서는, 돼지가 시간의 63 내지 95 %를 휴식을 취하기 위해 소비하는데 휴식 시간에는 열 생산이 감소한다.

[표-13] 계절에 따른 그리고 두 계절 전반에 걸친 돼지 육성 돈사 내 온실 가스 및 악취 화합물의 계절적 평균 (\pm SD)

Parameters ²	Winter	Summer	Both seasons	P- value ¹
Green house gas				
CO ₂ (ppm)	2463.88 (\pm 1373.3)	1242.61 (\pm 420.6)	2013.95 (\pm 1263.04)	0.000
Odorant				
NH ₃ (ppm)	27.85 (\pm 23.1)	14.89 (\pm 12.05)	406.8 (\pm 586.9)	0.021
H ₂ S (ppm)	0.38 (\pm 0.40)	0.41 (\pm 0.45)	203.78 (\pm 238.5)	0.794
DMS (ppb)	8.81 (\pm 22.52)	0.14 (\pm 0.17)	5.62 (\pm 18.30)	0.084
DMDS (ppb)	0.28 (\pm 0.83)	0.94 (\pm 1.55)	0.70 (\pm 1.36)	0.078
Skatole (ppb)	0.00	0.04 (\pm 0.11)	0.01 (\pm 0.07)	0.032
Indole (ppb)	0.01 (\pm 0.03)	0.03 (\pm 0.03)	0.02 (\pm 0.03)	0.009
P-cresol (ppb)	0.19 (\pm 0.31)	0.60 \pm 0.36	0.34 (\pm 38)	0.000
AA (ppb)	68.53 (\pm 77.89)	33.78 (\pm 42.25)	55.73 (\pm 68.67)	0.065
PA (ppb)	29.36 (\pm 40.31)	10.60 (\pm 12.67)	22.45 (\pm 34)	0.043
IBA (ppb)	2.14 (\pm 2.74)	0.84 (\pm 1.47)	1.66 (\pm 2.42)	0.049
BA (ppb)	13.07 (\pm 19.08)	5.82 (\pm 4.95)	10.40 (\pm 15.77)	0.094
IVA (ppb)	2.27 (\pm 2.89)	2.41 (\pm 4.18)	2.32 (\pm 3.39)	0.887
VA (ppb)	2.46 (\pm 4.16)	1.12 (\pm 1.13)	1.97 (\pm 3.42)	0.155
MM (ppb)	18.47 (\pm 25.83)	1.77 (\pm 1.38)	12.32 (\pm 21.99)	0.005

- 상이한 철자가 달린 동일한 컬럼 내 계절 평균은 서로 다르다($p < 0.005$).
- 악취물질 데이터는 한국의 6개 도에 소재하는 12개 상업적 돼지 농장의 산술 평균 \pm SD를 나타낸다.
- [표-14]는 미기후 및 악취 화합물의 상관관계를 보여준다. 여름철에 상대습도 및 암모니아 사이에서는 부정적인 상관관계가 발견되었으며($P < 0.01$) 온도 및 암모니아 사이에서는 긍정적인 상관관계가 발견되었다. 하지만, Kim 등(2005)은 반대되는 결과를 보여주었다. 암모니아 및 온도 사이에서 긍정적인 상관관계를 발견하였으며

악취지수수준 및 온도 사이에서도 긍정적 상관관계를 보여주었다. 이런 결과는 여러 가지 조건 및 현상이 복잡하게 관여한다는 것을 나타내며 습도 및 공기입자 사이의 관계를 고려하는 것이 대안일 수 있다. 또한 공기의 수분운반 역량 (온도와 관련이 있음) 및 물분자와 악취 화합물 간의 친화성 역시 고려할 대상이다(Miller 등, 2003).

- 두 계절 모두 공기 속도 및 암모니아 농도 사이에서 부정적인 상관관계가 발견되었다. 실내 온도가 증가되는 동안, 점점 더 많은 환기가 돈사에 공급되고 대부분의 암모니아는 돈사로부터 제거될 수 있었을 것으로 보인다.

[표-14] 돼지 육성 돈사 내 악취물질 및 온실 가스와 관련된 미기후 변수에 대한 Kendall의 tau-b 상관관계 계수

Kendall's tau-b Parameters	Odorant												Green house gas	
	AA	PA	IBA	BA	IVA	VA	P-cresol	Indole	MM	DMS	DMDS	NH3	H2S	CO2
Temperature														
Winter	0.08	0.10	0.03	0.14	0.13	0.09	0.25	0.02	.393**	0.16	.281*	.340**	0.20	.721**
Summer	0.15	0.19	0.22	0.08	0.14	-0.11	-0.12	-0.22	-0.11	0.18	0.00	0.17	0.30	0.07
Both seasons	-0.03	0.02	-0.02	0.10	0.13	0.12	.412**	.256*	0.01	-.257**	-0.01	0.01	0.13	0.08
Relative humidity														
Winter	-.311**	-.260*	-0.21	-.236*	-.311**	-0.16	-0.10	-0.14	-0.02	-0.18	0.01	.480**	.292*	0.19
Summer	-0.05	-0.08	-0.14	0.03	-0.05	0.24	0.15	0.21	0.18	-0.09	0.01	-0.12	-0.33	0.07
Both seasons	-.264**	-.214*	-.193*	-0.15	-.221*	-0.06	0.11	0.16	-0.04	-.286**	-0.05	.224*	0.05	0.09
Air speed														
Winter	-0.06	-0.02	-0.07	0.03	-0.08	0.01	0.22	0.01	0.24	.330**	.363**	0.09	-0.06	0.17
Summer	-0.10	-0.08	-0.04	0.00	-0.11	-0.14	-0.17	-0.03	-0.20	-0.11	-0.17	-0.14	-0.08	-.433**
Both seasons	-0.14	-0.08	-0.10	0.03	0.01	0.08	.407**	.303**	-0.10	-.271**	-0.02	-0.15	-0.03	-.240*

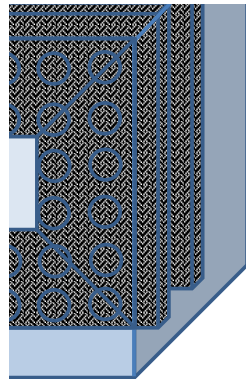
*P< 0.05 (2-tailed);**p<0.01 (2-tailed)

2. 실용적 GHOG 저감시스템 설계

- 돈사시설 주변에서 감지되는 악취 발생물질은 가축, 축사, 사료, 축산분뇨 및 축산분뇨처리시설, 액비와 퇴비 보관시설 등으로부터 발생되고 있으며, 여러 종류의 악취성분이 함께 어우러져 나타내는 복합악취의 성격이 강하다. 특히 돈사 내에서는 돈분뇨와 가축사료에 포함된 단백질, 지방, 탄수화물 등의 유기물질을 분해하는 과정에서 암모니아, 황화수소 및 유기산 계열 등의 악취물질이 발생한다.
- 국외에서는 양돈시설에서 발생하는 악취발생 특성을 규명하고 악취를 저감하기 위하여 사료와 음용수에 미생물제제 및 복합생균제 등을 혼합하여 돼지의 소화율을 증진시키거나, 돈사 내부에 마스크제, 화학탈취제 및 미생물제제 등을 살포하는 등의 방법을 적용하고 있다.
- 또한 액비화시설과 퇴비화시설 등의 밀폐, 돈사 환기 및 시설 개선 그리고 일부 양돈시설에서 습식 세정탑과 바이오필터와 같은 방지사설을 운영하는 등의 다양한 저감방안을 적용하고 있다. 그러나 실질적으로 바이오 필터가 효율적 악취저감이 이뤄지고 있는 곳은 전무하다.
- 이에, 악취를 발생시키는 원인인자에 대해 파악하고, 바이오 필터를 통해 물리적 환경인자를 제거하여 악취를 저감시키는 방법을 제시하고자 본 연구에서는 한국의 상황에 맞는 실용적 악취저감 시스템을 설계하고자 한다.
- GHOG 악취저감 시스템은 기존의 여타 시스템과는 달리 SEC(Simple Efficient Cost-Effective)에 중점을 두어 설계하였다. 아래 그림과 같이 배기 팬에 연결하여 duct를 통해 공기가 배출되는 형태로 돈사의 배기구의 크기에 상관없이 duct 크기를

조절하여 연결할 수 있도록 하였다.

1)



2)

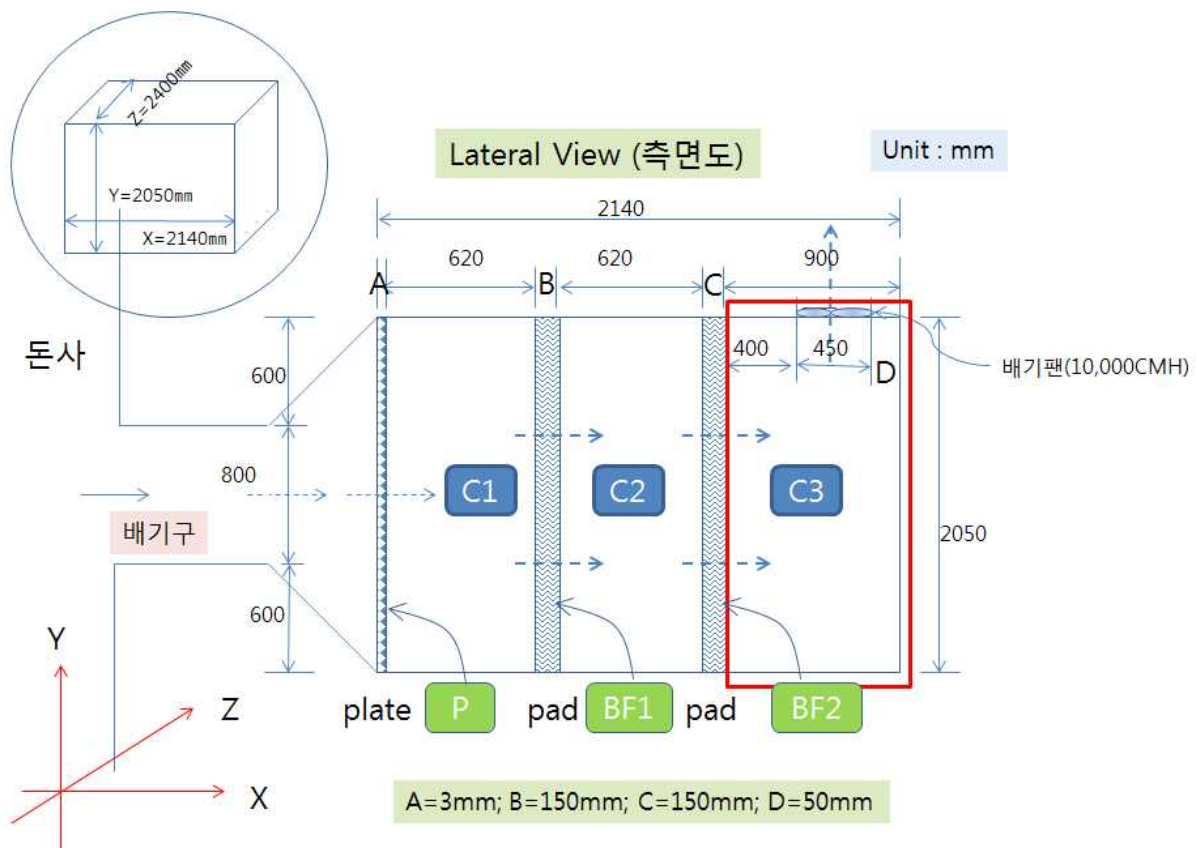


[그림-16] GHOG 악취저감 시스템의 입체도와 실상도

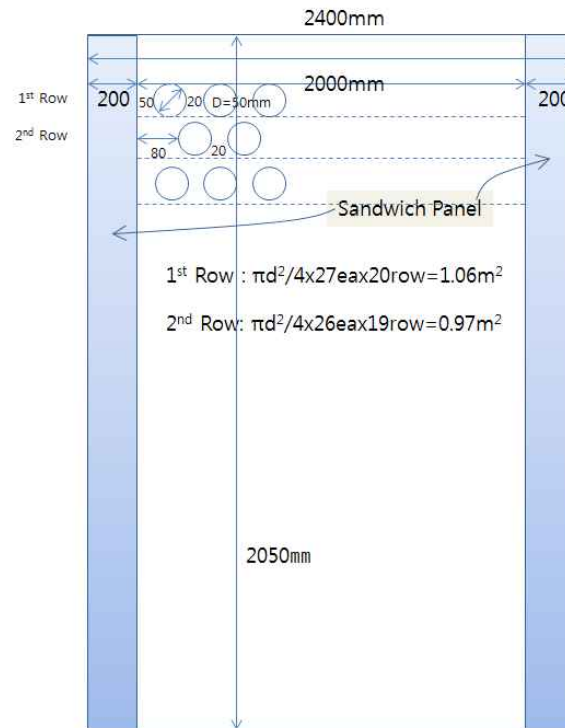
- 덕트를 통해 유입된 공기가 최전면에 있는 유체 분배 패널을 통해 균등히 퍼질 수 있도록 설계되었으며 악취 가스가 상시 물이 흐르는 두 개의 패드를 지나치면서 악취가 저감된다. 일반적인 바이오 필터는 우드칩과 같은 천연충전재를 사용하여 미생물의 생육이 가능하도록 한다. 하지만 GHOG 시스템은 충전재 없이 셀룰로오스 패드를 미생물 생육의 최적의 배지로 삼아 악취제거가 가능하도록 하였다.

2차년도 연구결과 요약

- 기본적으로 유체의 유동을 해석하는 商用전산프로그램은 영국 CHAM사의 Phoenics을 활용하여 다음의 공기유동예측을 수행하였다.
- [그림-1]과 같이 BF는 2,140mm(L) × 2,050mm(H) x 2400mm(W)로서 내부에는 2개의 150mm 다공성(多孔性) cellulosic pad (B, C)로 설비되어 있다. 다만 돈사 배기구(800mm)에서 2050mm의 BF으로 배기유동(流動)이 확정되면서 중앙으로 집중되는 공기속도를 pad 전면에 유속이 균배될 수 있도록 [그림-2]와 같이 설계한 t3mm의 다공 plastic plate를 설치하였다. D900mm 배기팬 3개를 C3의 천정에서 상향(上向)하도록 설계하였다. 돈사에서 발생한 악취, 즉, 암모니아, 황화수소, MM, Indole, Skatol, VFA (Volatile Fatty Acid) 및 먼지 등이 공기유동에 따라 유동되므로 C2, C3의 BF에 의하여 여과되도록 되어 있다.

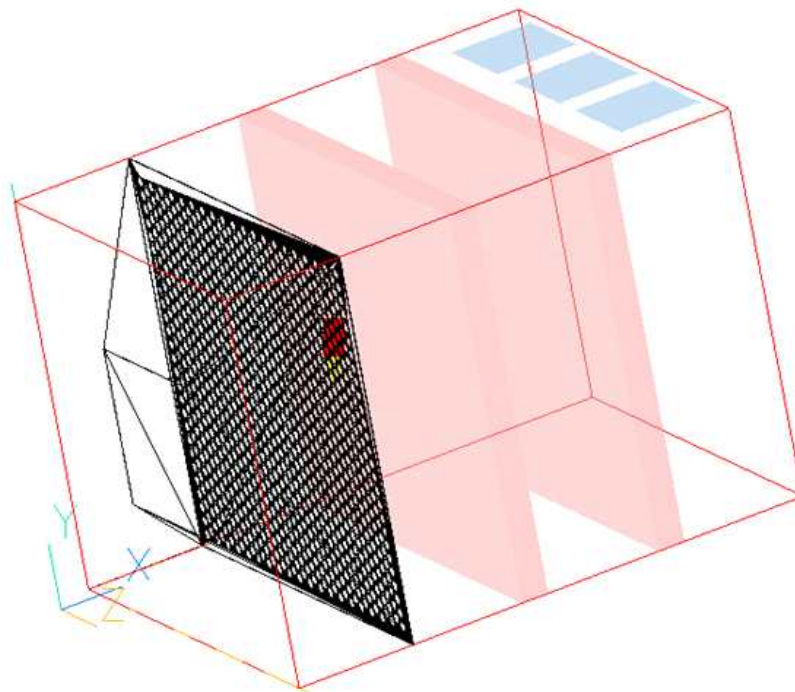


[그림-1] BF 공기흐름도 및 제원



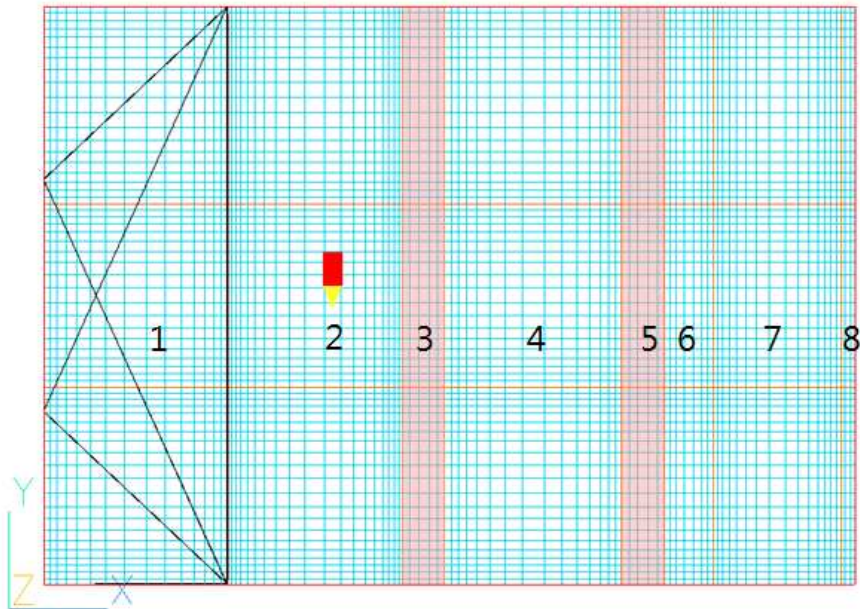
[그림-2] BF 천공막의 구조형태 및 제원

- 전술한 바와 같이 [그림-2]는 유속균배 panel은 D50mm 천공이 첫 행에 27개, 둘째 행 26개가 엇갈리게 배열되어 39행으로 천공되어 있다.

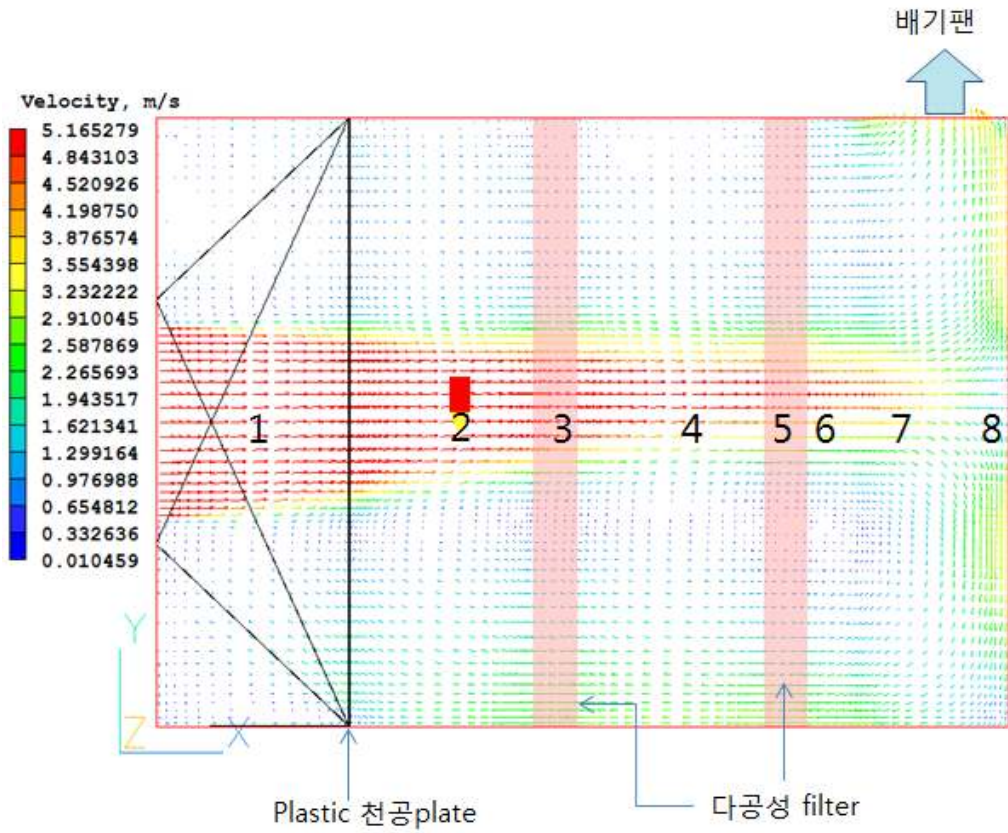


[그림-3] [그림-2]의 천공막을 CAD 기하학적 형태

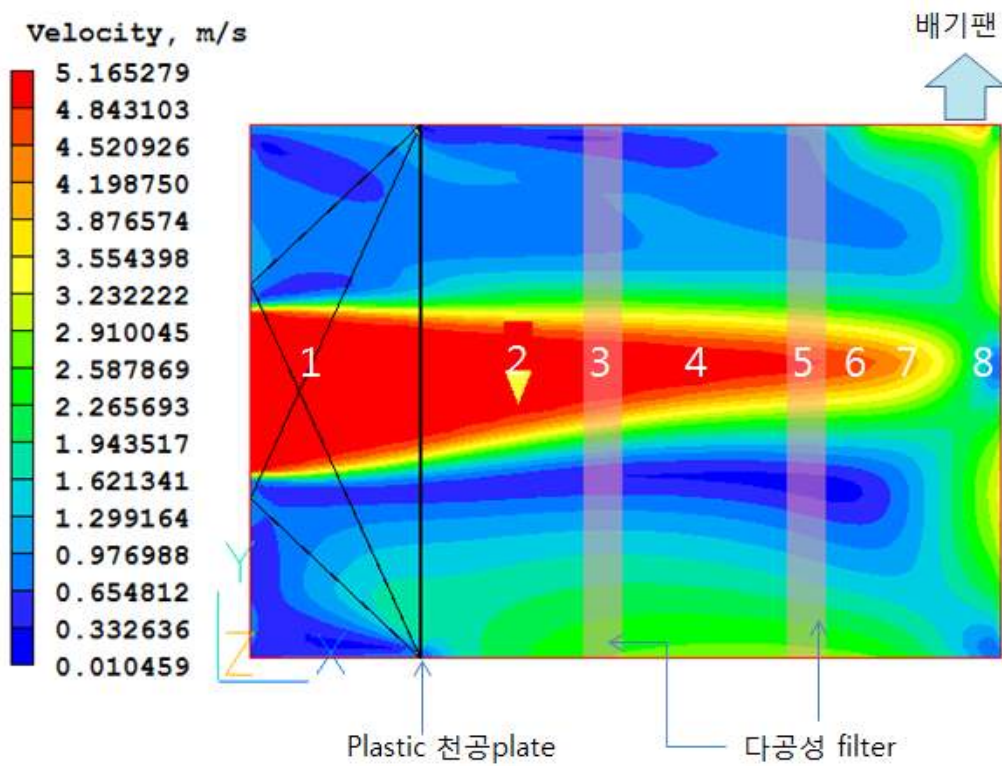
- BF의 X-Y 평면의 계산영역은 8개로 구성하였으며, 3, 5 영역은 porous media 로 공극율 50%로 계산하였다. 영역 6, 7, 8은 상대적으로 공기유동이 다른 영역보다 미세하게 일어나므로 부분영역을 다시 3개로 세분화하여 계산영역을 형성하였다. 공기유동은 steady-state, non-buoyant flow를 대상으로 유속분포를 예측하였다.



- BF 공기유입되는 입기속도는 5m/s의 air jet는 다공 BF가 없다면 air jet는 확산된다. 그러나 [그림-4] 공기속도 vector 분포, [그림-5] 공기속도 등고분포에서 보듯이 2개의 다공 BF 때문에 오히려 air jet 중심축의 한 점으로 모아지는 수축현상을 보였다. 그리고 전단면에 유속균배를 위하여 설치한 [그림-2]의 다공 plastic plate 거의 제역할을 하지 못함을 알 수 있다.
- [그림-5]에서 보듯이 입기속도가 천공막을 만나면서 거의 속도가 줄지않고, 천공막을 통과하는 현상을 보였다. 이는 천공의 면적(천공수)이 너무 커 상하로 공기를 유도하지 못하기 때문으로 이해된다. 그러므로 천공수를 감소시킬 필요가 있다.
- C3에서 공기흐름이 가속되는 현상을 보였다. 이는 배기팬이 기계적으로 일중 유동율을 배기시키면서 질량보전을 법칙을 만족시키기 위하여 C3내 유속제고효과를 보였다.



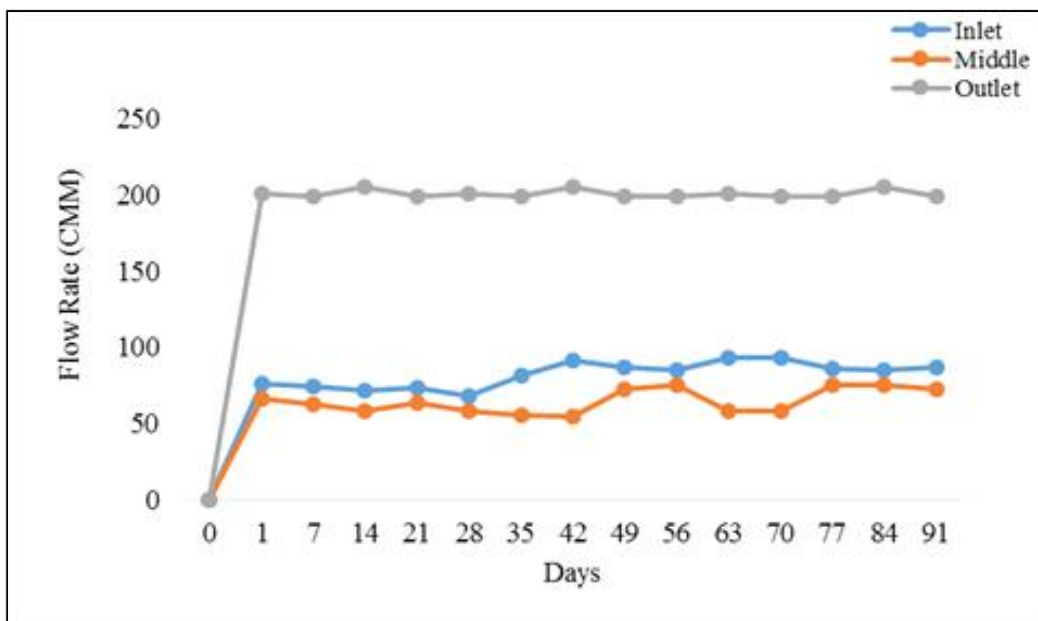
[그림-4] BF의 공기유동 vector 분포



- 축사로부터 나오는 공기의 환기에 사용되는 바이오 필터들은 건물의 최대 환기 비율(보통, 따뜻한 날씨 비율)을 처리하기에 맞는 크기여야 한다. 이 환기 비율은 건물

내 동물들의 유형, 크기, 및 수에 달려 있으며 그것은 공기 흐름 비율과 공기 속도나 공기 스피드를 나타낸다. 따라서 실험 전체를 통해서 돼지 유형은 성장 단계였으며 돼지의 수는 160이었다. 그러나 돼지들의 크기를 통제하기는 매우 어려웠다. 왜냐하면 성장 및 비육 단계에서는 돼지의 중량과 크기가 매우 쉽게 증가할 수 있기 때문이다(생리학적 조건). 물리적 변수, 환기 비율 및 압력 강하에 대한 표본을 감지기를 사용해서 바이오 필터의 세 가지 상이한 표본추출 지점으로부터 채취하였다(바이오 필터의 주변 환경; 표본추출 지점들은 그림 7에 나와 있음).

- 흐름 비율은 바이오 필터의 작동 조건을 나타내는 중요한 요인 중 하나이다. 결과(그림 12)는 흐름 비율이 입구보다는 출구에서 더 높았다는 것을 보여 주는데, 이는 바이오 필터 내의 공기 흐름 운동에 전혀 장애가 없었다는 것을 나타낸다. 섬유소 패드 거리 때문에 중간 구획이 약간 낮은 공기 흐름 비율을 보여 주긴 했지만, 전반적인 흐름 비율은 좋았다(표본추출 지점에 대해서는 그림 7을 참고하시오).



[그림 158] 세 가지 상이한 표본추출 지점에 따른 주변 공기 흐름 비율에 대한 도표

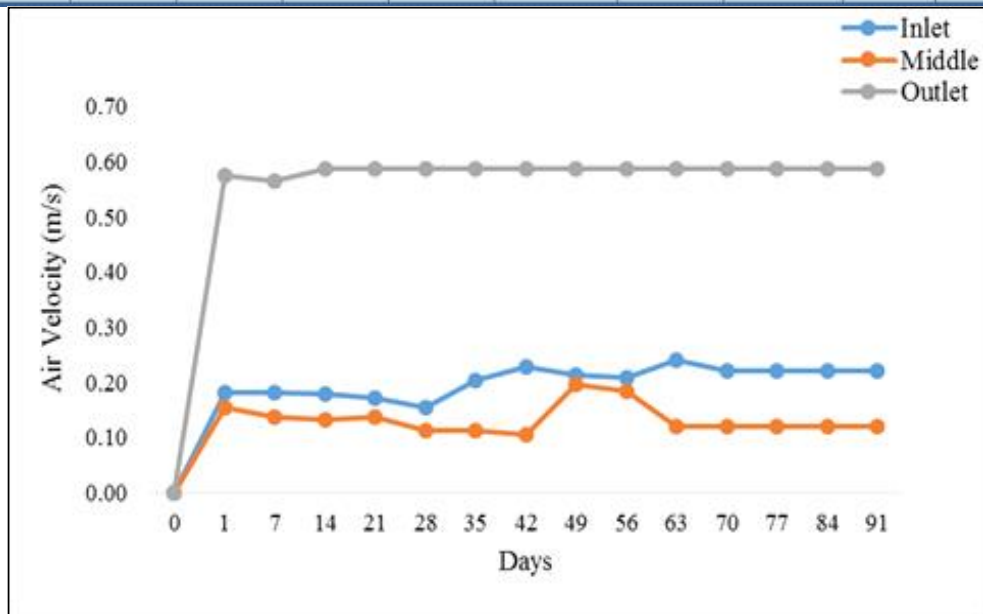
표 1: 바이오 필터의 내측 주변 환경에서 나오는 공기 흐름 비율에 대한 통계적 분석

*흐름 비율 (FR) = 흐름 비율의 단위는 CMM임.

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능(표 1). 14일 후 바이오 필터는 일정한 공기 흐름 비율을 보여 주었다. 그러나 최종 두 세트의 자료에서는 감지기 문제 때문에 자료를 수집하지 못했다. 아니면 섬유소 패드 위에서 미생물이 성장했다는 것이 흐름 비율이 더 느려진 이유였을 수 있다. 비록 평균은 낮았지만, 개별 표본추출 지점들에 대한 자료는 좋은 결과를 보여 주었다(그림 15).

그림 15. 세 가지 상이한 표본추출 지점에 따른 주변 공기 속도에 대한 도표

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Air Flow Rate (CMM)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	89	66	10352	102	1	201	199	59
	7	3	112	74	5701	76	62	199	136	44
	14	3	112	74	5701	76	62	199	136	47
	21	3	46	64	1522	39	1.3	73	72	23
	28	3	42	58	1329	36	0.2	68	68	21
	35	3	46	56	1737	42	0.1	82	82	24
	42	3	49	55	2127	46	0.0	92	92	27
	49	3	53	73	2134	46	0.8	87	86	27
	56	3	53	75	2149	46	0.2	85	85	27
	63	3	51	58	2204	47	0.5	93	93	27
	70	3	16	0.3	783	28	0.0	49	49	16
	77	3	29	0.0	2488	50	0.0	86	86	29
	84	3	16	0.1	758	28	0.0	48	48	16
	91	3	14	579	24	0.0	42	42	14	14



- 결과(그림 16)는 공기 속도가 입구보다 출구에서 더 높았음을 보여 주는데, 이는 바이오 필터 내의 공기 흐름 운동에 전혀 장애가 없었다는 것을 나타낸다. 섬유소 패드 거리 때문에 중간 구획이 약간 낮은 공기 흐름 비율을 보여 주긴 했지만, 전반적인 흐름 비율은 좋았다.

표 2: 바이오 필터의 내측 주변 환경에서 나오는 공기 속도에 대한 통계적 분석

* 공기 속도 (AS) = 공기 속도의 단위는 m/s임.

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능(표 2). 14일 후 바이오 필터는 일정한 공기 속도를 보여 주었다.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Air Flow Rate (CMM)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	89	66	10352	102	1	201	199	59
	7	3	112	74	5701	76	62	199	136	44
	14	3	112	74	5701	76	62	199	136	47
	21	3	46	64	1522	39	1.3	73	72	23
	28	3	42	58	1329	36	0.2	68	68	21
	35	3	46	56	1737	42	0.1	82	82	24
	42	3	49	55	2127	46	0.0	92	92	27
	49	3	53	73	2134	46	0.8	87	86	27
	56	3	53	75	2149	46	0.2	85	85	27
	63	3	51	58	2204	47	0.5	93	93	27
	70	3	16	0.3	783	28	0.0	49	49	16
	77	3	29	0.0	2488	50	0.0	86	86	29
	84	3	16	0.1	758	28	0.0	48	48	16
	91	3	14	579	24	0.0	42	42	14	14

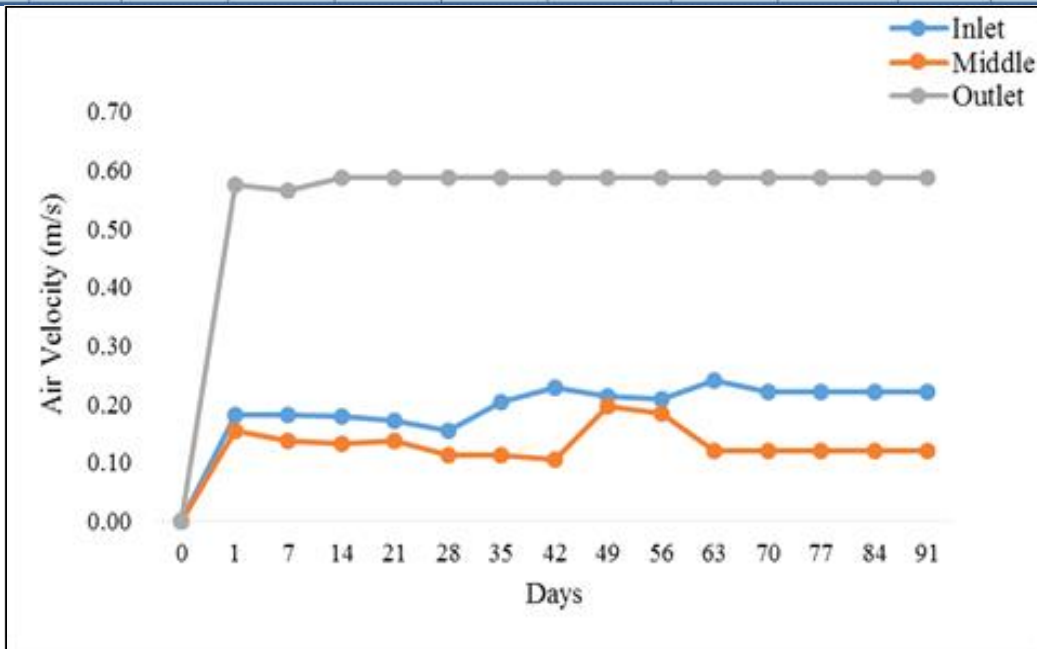


그림 16. 세 가지 상이한 표본추출 지점에 따른 주변 압력에 대한 도표

- 결과(그림 16)는 압력이 입구보다 출구에서 더 높았음을 보여 주는데, 이는 바이오 필터 내의 공기 흐름 운동에 전혀 장애가 없었다는 것을 나타낸다. 섬유소 패드 거리 때문에 중간 구획이 약간 낮은 공기 흐름 비율을 보여 주긴 했지만, 전반적인 흐름 비율은 좋았다.

표 3: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 압력에 대한 통계적 분석

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Pressure (pa)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	68.7	70.9	24.8	5.0	63.0	72.1	9.2	2.9
	7	3	72.7	74.2	26.2	5.1	67.0	76.9	9.9	3.0
	14	3	72.4	73.4	23.9	4.9	67.1	76.7	9.6	2.8
	21	3	74.2	74.4	27.2	5.2	68.9	79.3	10.4	3.0
	28	3	51.9	72.9	1651.4	40.6	5.1	77.7	72.7	23.5
	35	3	74.8	74.6	23.0	4.8	70.1	79.7	9.6	2.8
	42	3	73.5	74.4	23.1	4.8	68.4	77.8	9.5	2.8
	49	3	76.8	74.9	29.7	5.5	72.6	83.0	10.4	3.1
	56	3	74.5	72.0	39.4	6.3	69.9	81.7	11.7	3.6
	63	3	74.9	73.4	70.6	8.4	67.4	84.0	16.6	4.9
	70	3	73.0	73.0	121.0	11.0	62.0	84.0	22.0	6.4
	77	3	44.9	38.4	333.4	18.3	30.9	65.6	34.7	10.5
	84	3	74.9	73.4	70.6	8.4	67.4	84.0	16.6	4.9
91	3	84.0	83.5	17.8	4.2	80.0	88.4	8.4	2.4	

* 압력 = 압력의 단위는 Pa(pascal)임.

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 3에 나와 있으며 이 결과에 따르면 표준 편차는 높지 않다.
- 축사 내 악취는 상이한 속의 세균에 의한 부패의 갖가지 단계에서 (O'Neill 및 Phillips,1991) 대변, 소변, 피부, 털, 사료 부스러기 및 깔짚 등 부패성 폐기 제품들에 의해 발생하였다(Zhu 등; 2000). 한편 악취 나는 화합물의 대부분은 주로 공기전염 입자들에 의해 옮겨졌다(Day 등; 1965). 돼지 생산과 관련된 대표적인 악취 화합물은 암모니아 (NH₃), 휘발성 지방산 (VFAS), 방향족 화합물 및 황 화합물들이었다(Cai.et.al,2006). 이산화탄소(CO₂)는 주요 온실 가스 중 하나로서, 동물 시설에서 동물 호흡의 부산물로 산출되며 미생물에 의해 발생한 것이다. 미생물들이 기질을 분해시키면 그것은 물과 이산화탄소로 전환된다.
- **암모니아:** 결과(그림 18)는 암모니아 농도가 출구보다 입구에서 더 높았음을 보여 주는데(그림 18), 이는 암모니아의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했다는 것을 나타낸다.

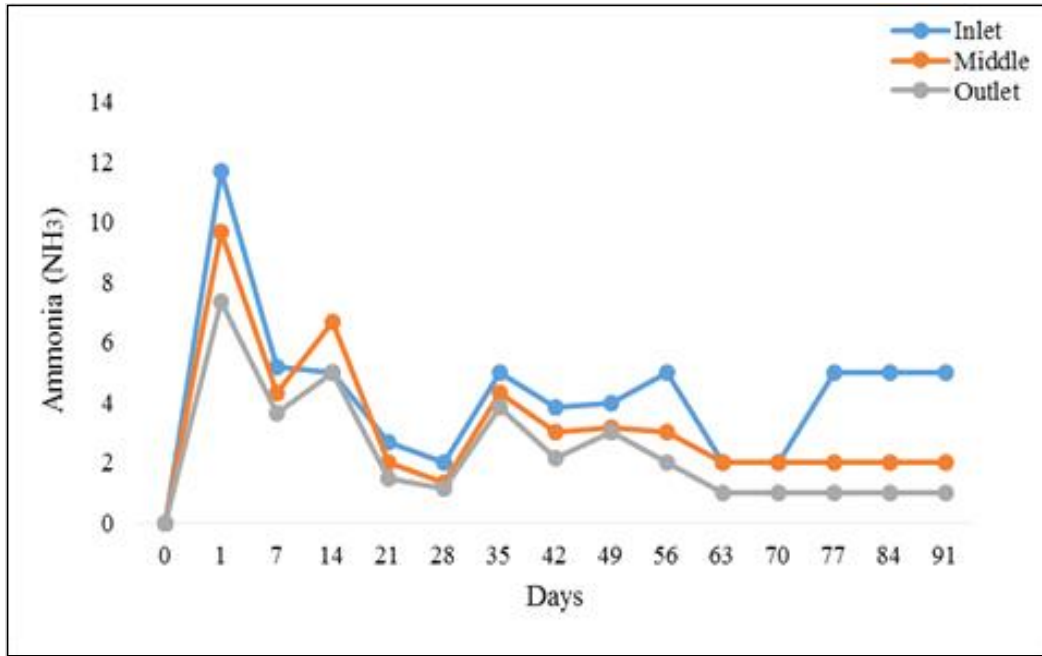


그림 164 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 암모니아에 대한 도표

표 4: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 암모니아 가스에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Ammonia* (ppm)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	9.56	9.67	4.70	2.17	7.33	11.67	4.33	1.25
	7	3	4.39	4.33	0.56	0.75	3.67	5.17	1.50	0.43
	14	3	5.56	5.00	0.93	0.96	5.00	6.67	1.67	0.56
	21	3	2.06	2.00	0.34	0.59	1.50	2.67	1.17	0.34
	28	3	1.50	1.33	0.19	0.44	1.17	2.00	0.83	0.25
	35	3	4.39	4.33	0.34	0.59	3.83	5.00	1.17	0.34
	42	3	3.00	3.00	0.69	0.83	2.17	3.83	1.67	0.48
	49	3	3.39	3.17	0.29	0.54	3.00	4.00	1.00	0.31
	56	3	3.33	3.00	2.33	1.53	2.00	5.00	3.00	0.88
	63	3	1.67	2.00	0.33	0.58	1.00	2.00	1.00	0.33
	70	3	1.67	2.00	0.33	0.58	1.00	2.00	1.00	0.33
	77	3	2.67	2.00	4.33	2.08	1.00	5.00	4.00	1.20
	84	3	2.67	2.00	4.33	2.08	1.00	5.00	4.00	1.20
91	3	2.67	2.00	4.33	2.08	1.00	5.00	4.00	1.20	

* 암모니아 (NH3) = 암모니아의 단위는 ppm(100만 당 파트, 10⁻⁶)임.

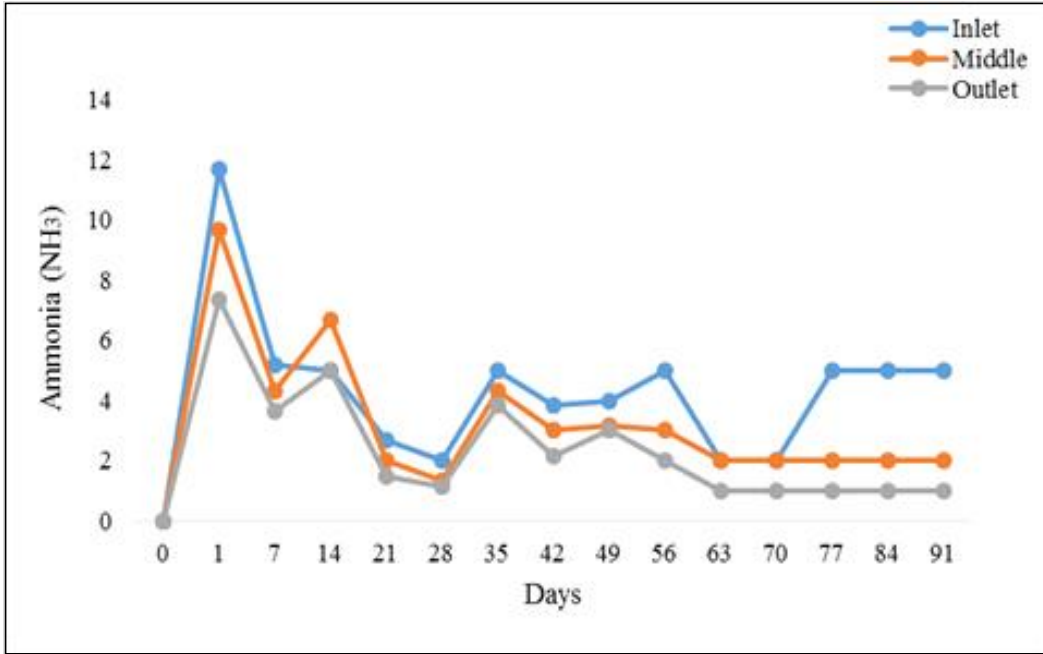


그림 166 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 암모니아에 대한 도표

표 4: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 암모니아 가스에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. E
Ammonia* (ppm)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	9.56	9.67	4.70	2.17	7.33	11.67	4.33	1.2
	7	3	4.39	4.33	0.56	0.75	3.67	5.17	1.50	0.4
	14	3	5.56	5.00	0.93	0.96	5.00	6.67	1.67	0.5
	21	3	2.06	2.00	0.34	0.59	1.50	2.67	1.17	0.3
	28	3	1.50	1.33	0.19	0.44	1.17	2.00	0.83	0.2
	35	3	4.39	4.33	0.34	0.59	3.83	5.00	1.17	0.3
	42	3	3.00	3.00	0.69	0.83	2.17	3.83	1.67	0.4
	49	3	3.39	3.17	0.29	0.54	3.00	4.00	1.00	0.3
	56	3	3.33	3.00	2.33	1.53	2.00	5.00	3.00	0.8
	63	3	1.67	2.00	0.33	0.58	1.00	2.00	1.00	0.3
	70	3	1.67	2.00	0.33	0.58	1.00	2.00	1.00	0.3
	77	3	2.67	2.00	4.33	2.08	1.00	5.00	4.00	1.2
	84	3	2.67	2.00	4.33	2.08	1.00	5.00	4.00	1.2
91	3	2.67	2.00	4.33	2.08	1.00	5.00	4.00	1.2	

* 암모니아 (NH₃) = 암모니아의 단위는 ppm(100만 당 파트, 10⁻⁶)임.

- **휘발성 지방산 (VFAs):** 결과(그림 20)는 초산 농도가 출구보다 입구에서 더 높았음을 보여 주는데 이는 초산의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서, 특별히 두 번째 섬유소 패드에서 발생했다는 것을 나타낸다.
- **초산(acetic acid):** 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 5에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 초산의 농도도 증가한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했다는 것을 의미한다. 결과적으로, 초산의 농도가 증가하였다.

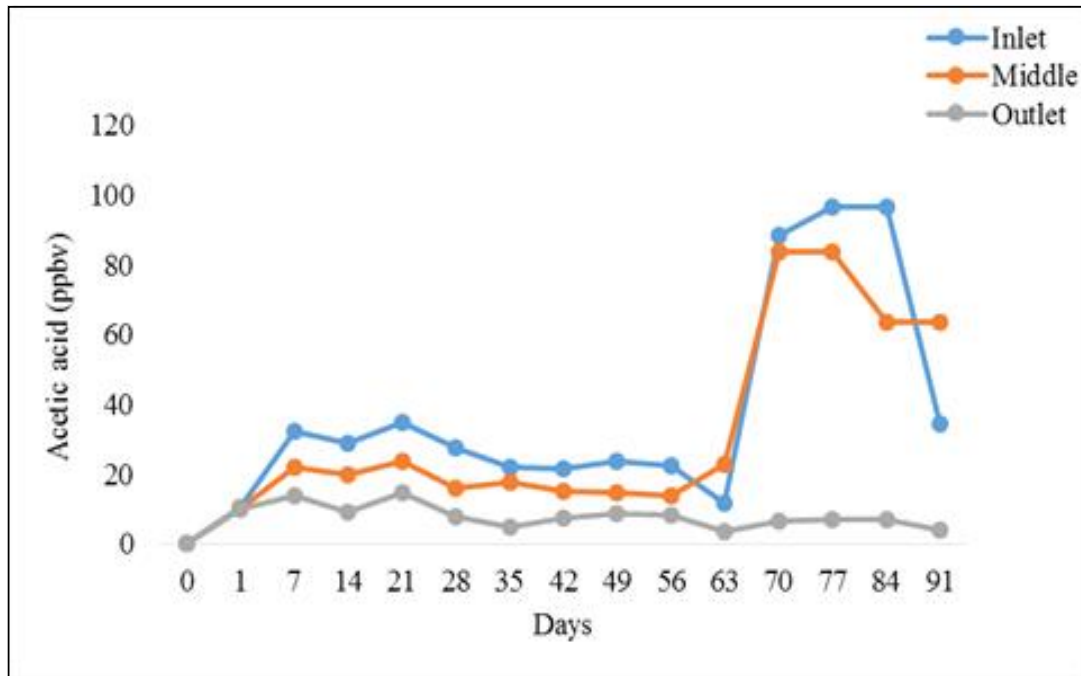


그림 168 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 초산에 대한 도표

표 5: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 초산에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Acetic acid* (ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	10.3	10.2	0.0	0.2	10.2	10.5	0.3	0.1
	7	3	22.6	21.9	83.4	9.1	13.9	32.1	18.2	5.3
	14	3	19.3	20.0	101.1	10.1	9.0	29.1	20.1	5.8
	21	3	24.5	23.6	102.7	10.1	14.8	35.0	20.2	5.8
	28	3	17.1	16.0	95.7	9.8	8.0	27.4	19.5	5.6
	35	3	14.9	17.9	78.0	8.8	5.0	21.9	16.9	5.1
	42	3	14.7	15.0	49.3	7.0	7.5	21.6	14.0	4.1
	49	3	15.6	14.6	57.4	7.6	8.6	23.7	15.0	4.4
	56	3	14.8	13.8	50.2	7.1	8.2	22.3	14.1	4.1
	63	3	12.7	11.8	95.0	9.7	3.5	22.9	19.4	5.6
	70	3	59.6	83.7	2097.6	45.8	6.8	88.3	81.5	26.4
	77	3	62.4	83.7	2366.5	48.6	6.8	96.8	90.1	28.1
	84	3	55.8	63.8	2075.5	45.6	6.8	96.8	90.1	26.3
91	3	34.1	34.4	888.8	29.8	4.2	63.8	59.6	17.2	

*초산 (AA) = 초산의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파트)임.

- 프로피온산:** 결과(그림 22)는 실험의 전반부에서 프로피온산 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 그러나 미생물 성장의 시작과 두 번째 필터 사이에서 프로피온산의 생산이 더 높았다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다. 두 번째 필터 후에 프로피온산 농도가 감소하였는데, 이것은 프로피온산을 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 프로피온산의 농도를 감소시키는 데

일조하였다는 것을 의미한다.

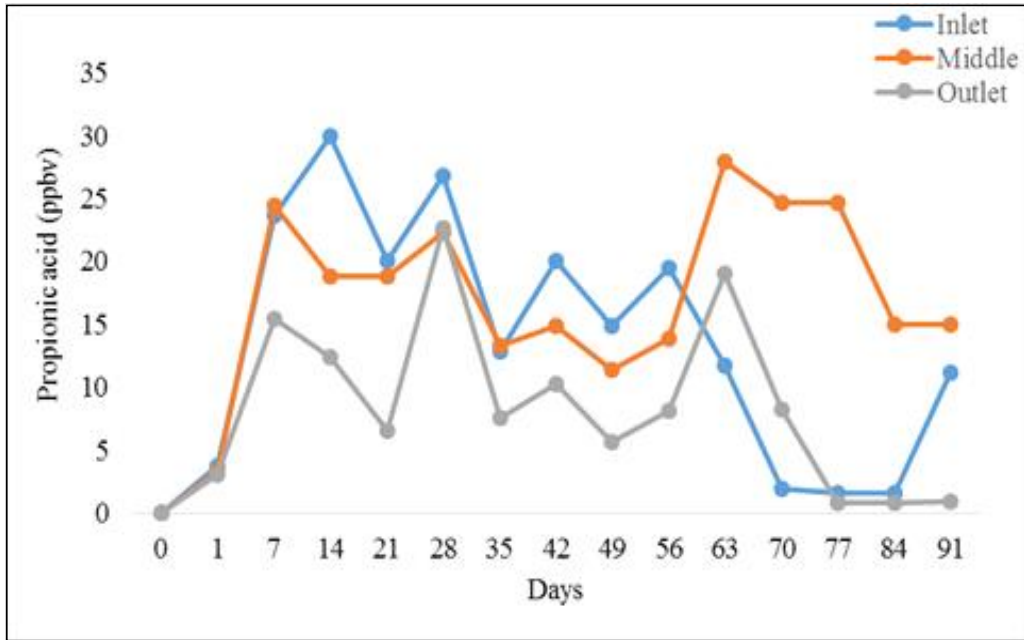


그림 170 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 프로피온산에 대한 도표

표 6: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 프로피온산에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Propionic acid* (ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	3.40	3.33	0.12	0.34	3.09	3.77	0.67	0.20
	7	3	21.18	23.63	25.12	5.01	15.41	24.49	9.08	2.89
	14	3	20.37	18.81	78.45	8.86	12.39	29.90	17.51	5.11
	21	3	15.13	18.80	55.15	7.43	6.58	20.01	13.42	4.29
	28	3	23.91	22.59	6.51	2.55	22.29	26.85	4.56	1.47
	35	3	23.91	22.59	6.51	2.55	22.29	26.85	4.56	1.47
	42	3	11.22	12.80	10.31	3.21	7.53	13.34	5.81	1.85
	49	3	10.61	11.36	21.64	4.65	5.63	14.85	9.21	2.69
	56	3	13.81	13.83	32.51	5.70	8.10	19.50	11.40	3.29
	63	3	19.56	19.03	65.34	8.08	11.75	27.90	16.14	4.67
	70	3	11.58	8.22	137.93	11.74	1.88	24.64	22.76	6.78
	77	3	8.99	1.56	183.87	13.56	0.76	24.64	23.88	7.83
	84	3	5.77	1.56	63.82	7.99	0.76	14.98	14.22	4.61
91	3	9.04	11.19	52.60	7.25	0.96	14.98	14.02	4.19	

*프로피온산 (PA) = 프로피온산의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파르트)임.

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 6에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 프로피온산의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 이 결과로, 프로피온산의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다.
- **이소-부티르 산:** 결과(그림 24)는 실험의 전반부에서 이소-부티르산 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 그러나 미생물 성장의 시작과 두 번째 필터 사이에서 이소-부티르산의 생산이 더 높았다. 이것은 악취 나는 화합물의

분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다. 두 번째 필터 후에 이소-부티르산 농도가 감소하였는데, 이것은 이소-부티르산을 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 프로피온산의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다.

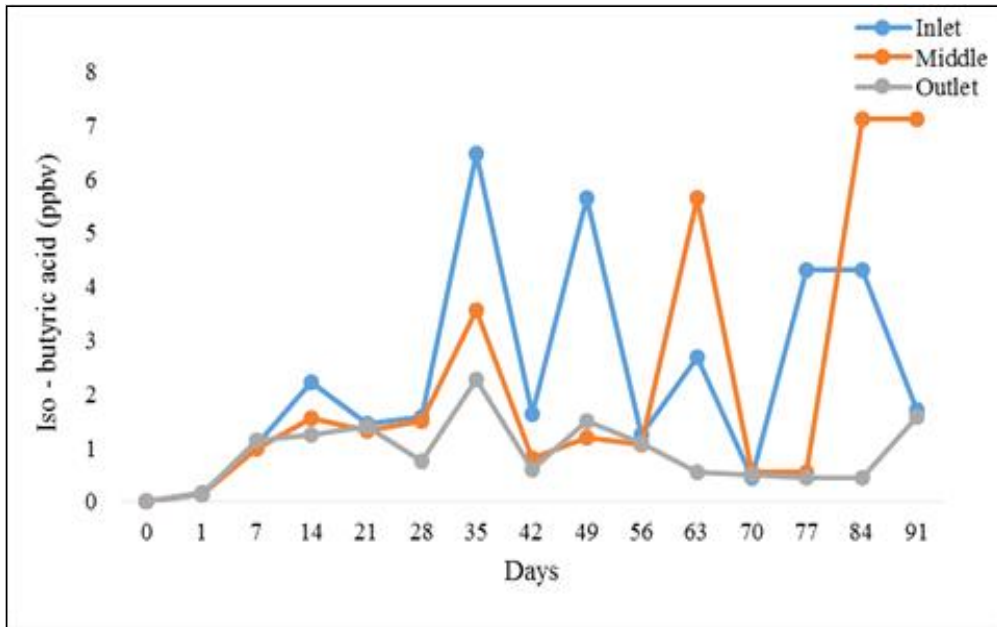


그림 172 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 이소-부티르산에 대한 도표

표 7: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 이소-부티르산에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Iso-butyrac acid*(ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	0.15	0.15	0.00	0.02	0.13	0.17	0.04	0.01
	7	3	1.06	1.06	0.01	0.08	0.98	1.14	0.17	0.05
	14	3	1.67	1.55	0.26	0.51	1.23	2.23	1.00	0.30
	21	3	1.39	1.39	0.00	0.07	1.32	1.46	0.14	0.04
	28	3	1.28	1.50	0.20	0.45	0.76	1.58	0.82	0.26
	35	3	4.10	3.56	4.64	2.15	2.26	6.47	4.21	1.24
	42	3	1.01	0.80	0.29	0.53	0.61	1.62	1.01	0.31
	49	3	2.78	1.50	6.16	2.48	1.19	5.64	4.45	1.43
	56	3	1.13	1.09	0.01	0.09	1.06	1.23	0.17	0.05
	63	3	2.96	2.70	6.51	2.55	0.56	5.64	5.08	1.47
	70	3	0.50	0.50	0.00	0.05	0.44	0.55	0.10	0.03
	77	3	1.77	0.55	4.87	2.21	0.46	4.32	3.87	1.27
	84	3	3.97	4.32	11.23	3.35	0.46	7.13	6.67	1.93
91	3	3.48	1.71	10.01	3.16	1.59	7.13	5.54	1.83	

*이소-부티르 산(i-BA) = 이소-부티르 산의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파트)임

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 7에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 이소-부티르산의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 이 결과로, 이소-부티르산의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다. 그러나 최종 두 주에서는 결과가 이전의 결과와 전적으로 반대되었다.

따라서 이소 - 부티르산의 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻으려면 더 많은 주의 결과들을 분석해야 할 것이다(실험은 여전히 계속된다).

- **부티르산:** 결과(그림 26)는 실험의 전반부에서 부티르산 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 그러나 미생물 성장의 시작과 두 번째 필터 사이에서 부티르산의 생산이 더 높았다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다.

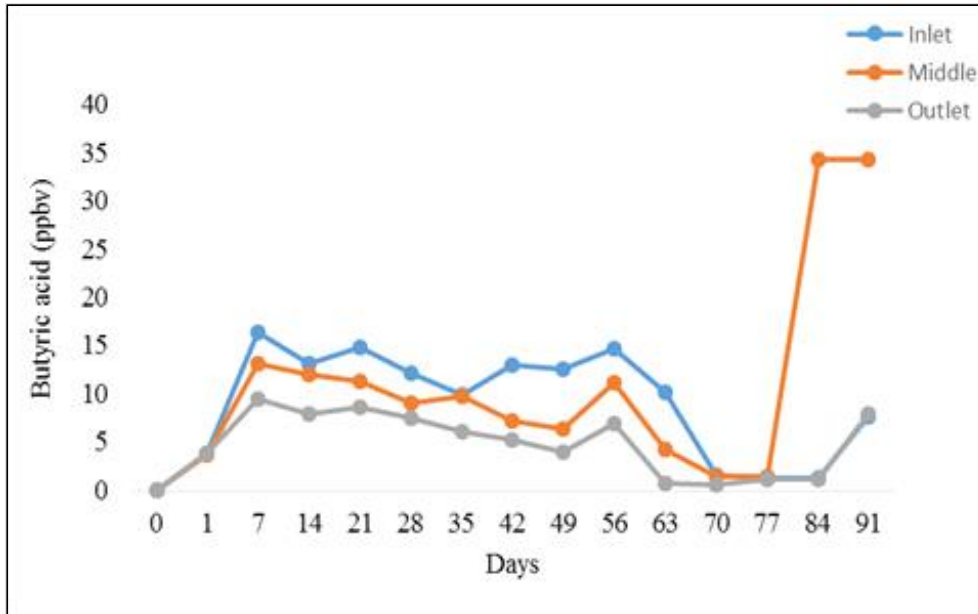


그림 174 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 부티르산에 대한 도표

표 8: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 부티르산에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Butyric acid* (ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	3.77	3.74	0.00	0.07	3.72	3.85	0.13	0.04
	7	3	12.97	13.11	12.07	3.47	9.42	16.36	6.94	2.01
	14	3	11.01	12.04	7.62	2.76	7.88	13.10	5.22	1.59
	21	3	11.52	11.23	9.87	3.14	8.53	14.79	6.26	1.81
	28	3	9.53	8.96	5.71	2.39	7.48	12.15	4.68	1.38
	35	3	8.49	9.66	4.62	2.15	6.01	9.80	3.79	1.24
	42	3	8.43	7.13	16.39	4.05	5.18	12.96	7.78	2.34
	49	3	7.60	6.36	19.65	4.43	3.92	12.52	8.60	2.56
	56	3	10.92	11.20	15.01	3.87	6.91	14.65	7.73	2.24
	63	3	5.04	4.23	22.86	4.78	0.71	10.17	9.46	2.76
	70	3	1.21	1.47	0.27	0.52	0.61	1.54	0.94	0.30
	77	3	1.28	1.27	0.03	0.18	1.10	1.47	0.37	0.11
	84	3	12.19	1.27	363.13	19.06	1.10	34.19	33.09	11.00
91	3	16.55	7.83	233.34	15.28	7.64	34.19	26.55	8.82	

*부티르산(BA) = 부티르 산의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파트)임.

- 두 번째 필터 후에 부티르산 농도가 감소하였는데, 이것은 부티르산을 활용할 책임이

있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 부티르산의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다(그림 7). 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 8에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 부티르산의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 이 결과로, 부티르산의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다. 그러나 최종 두 주에서는 결과가 이전의 결과와 전적으로 반대되었다. 따라서 부티르산의 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻으려면 더 많은 주의 결과들을 분석해야 할 것이다(실험은 여전히 계속된다).

- **이소-길 초산:** 결과(그림 28)는 실험의 전반부에서 이소-길 초산 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 그러나 미생물 성장의 시작과 두 번째 필터 사이에서 이소-길 초산의 생산이 더 높았다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다. 두 번째 필터 후에 이소-길 초산 농도가 감소하였는데, 이것은 이소-길 초산을 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 이소-길 초산의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다.

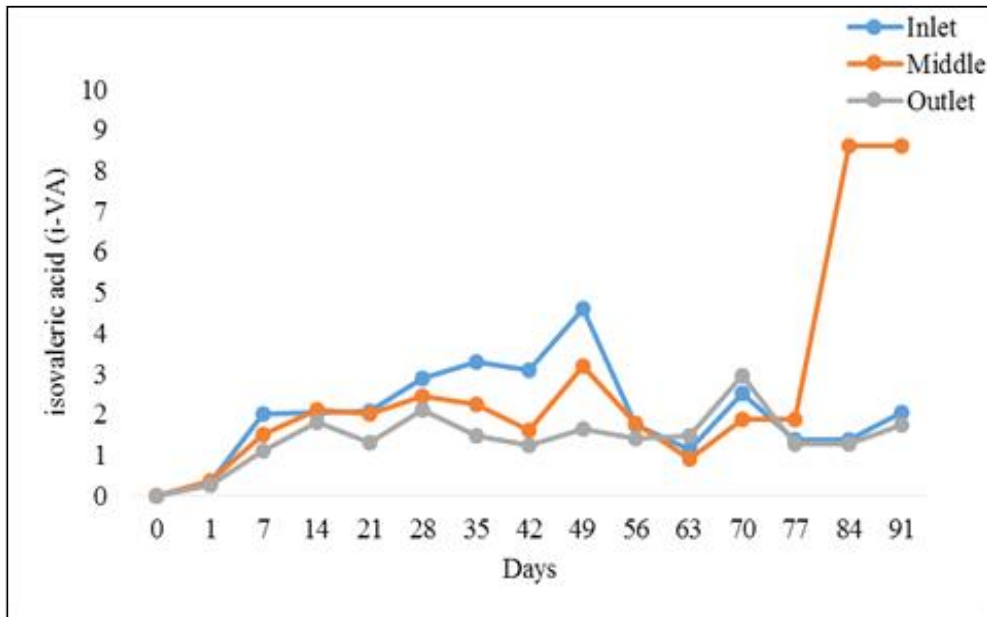


그림 176 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 이소-길 초산에 대한 도표

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 9에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 이소-길 초산의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 결과적으로, 이소-길 초산의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다. 그러나 최종 두 주에서는 결과가 이전의 결과와 전적으로 반대되었다. 따라서 이소-길 초산의 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻으려면 더 많은 주의 결과들을 분석해야 할 것이다(실험은 여전히 계속된다).

표 9: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 이소-길 초산에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Iso-Valeric acid* (ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	0.32	0.34	0.00	0.04	0.28	0.36	0.08	0.02
	7	3	1.54	1.50	0.21	0.46	1.10	2.01	0.92	0.27
	14	3	1.98	2.04	0.03	0.17	1.79	2.12	0.33	0.10
	21	3	1.80	2.03	0.19	0.44	1.29	2.08	0.78	0.25
	28	3	2.48	2.44	0.14	0.38	2.13	2.88	0.75	0.22
	35	3	2.35	2.26	0.83	0.91	1.49	3.31	1.82	0.53
	42	3	1.98	1.61	0.94	0.97	1.25	3.08	1.83	0.56
	49	3	3.14	3.17	2.17	1.47	1.65	4.59	2.95	0.85
	56	3	1.64	1.74	0.05	0.22	1.39	1.79	0.40	0.13
	63	3	1.17	1.12	0.08	0.29	0.91	1.48	0.57	0.17
	70	3	2.45	2.51	0.30	0.55	1.88	2.97	1.09	0.32
	77	3	1.50	1.37	0.11	0.33	1.27	1.88	0.61	0.19
	84	3	3.74	1.37	17.68	4.20	1.27	8.60	7.33	2.43
	91	3	4.14	2.06	14.95	3.87	1.75	8.60	6.84	2.23

*이소-길초산(i-VA) = 이소-길 초산의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파르트)임.

- **Volatic acid:** 결과(그림 30)는 실험의 전반부에서 길 초산 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 그러나 미생물 성장이 시작된 후 길 초산의 생산이 두 번째 필터 사이에서 더 높았다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다. 두 번째 필터 후에 길 초산 농도가 감소하였는데, 이것은 길 초산을 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 길 초산의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다.

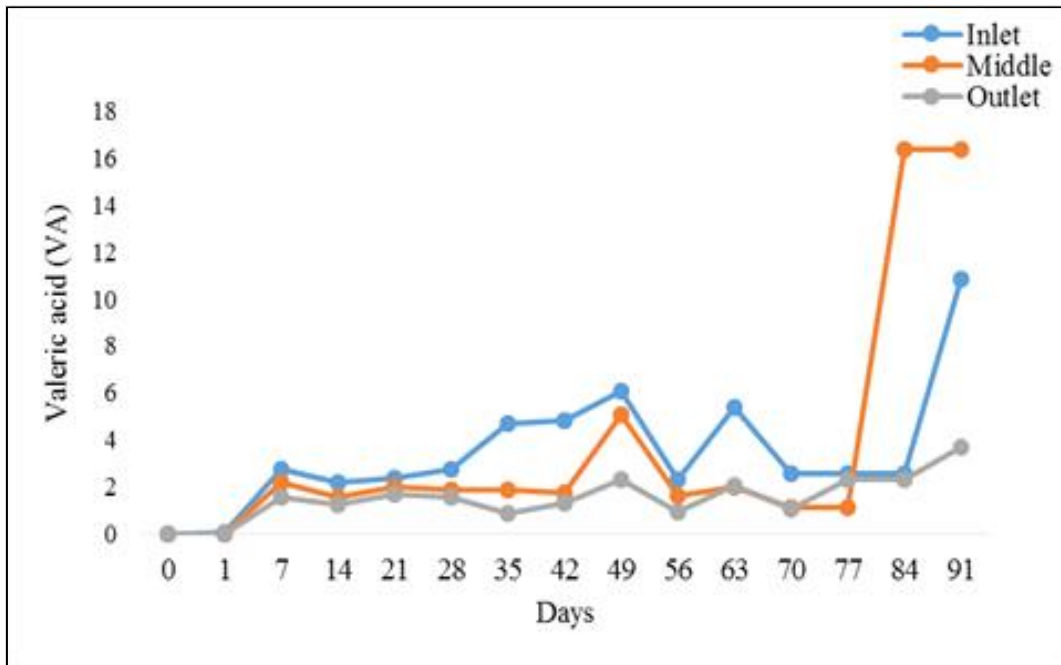


그림 178 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 길 초산에 대한 도표

표 10: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 길 초산에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Valeric acid* (ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01
	7	3	2.18	2.21	0.34	0.59	1.58	2.75	1.17	0.34
	14	3	1.67	1.58	0.26	0.51	1.21	2.21	1.00	0.29
	21	3	2.02	1.99	0.12	0.35	1.68	2.38	0.70	0.20
	28	3	2.06	1.86	0.36	0.60	1.58	2.73	1.15	0.35
	35	3	2.45	1.85	3.92	1.98	0.85	4.67	3.82	1.14
	42	3	2.62	1.74	3.69	1.92	1.29	4.82	3.53	1.11
	49	3	4.50	5.10	3.89	1.97	2.29	6.10	3.81	1.14
	56	3	1.62	1.61	0.45	0.67	0.95	2.29	1.34	0.39
	63	3	3.15	2.03	3.78	1.94	2.02	5.39	3.37	1.12
	70	3	1.58	1.14	0.74	0.86	1.03	2.57	1.54	0.50
	77	3	2.00	2.32	0.57	0.75	1.14	2.54	1.40	0.44
	84	3	7.09	2.54	65.01	8.06	2.32	16.40	14.07	4.66
	91	3	10.30	10.82	40.58	6.37	3.69	16.40	12.71	3.68

*길 초산(VA) = 길 초산의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파르트)임.

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 10에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 길 초산의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 이 결과로, 길 초산의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다. 그러나 최종 두 주에서는 결과가 이전의 결과와 전적으로 반대되었다. 따라서 길 초산의 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻으려면 더 많은 주의 결과들을 분석해야 할 것이다(실험은 여전히 계속된다).
- **페놀 화합물:** P-크레졸 결과(그림 32)는 실험의 전반부에서 p-크레졸 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다.

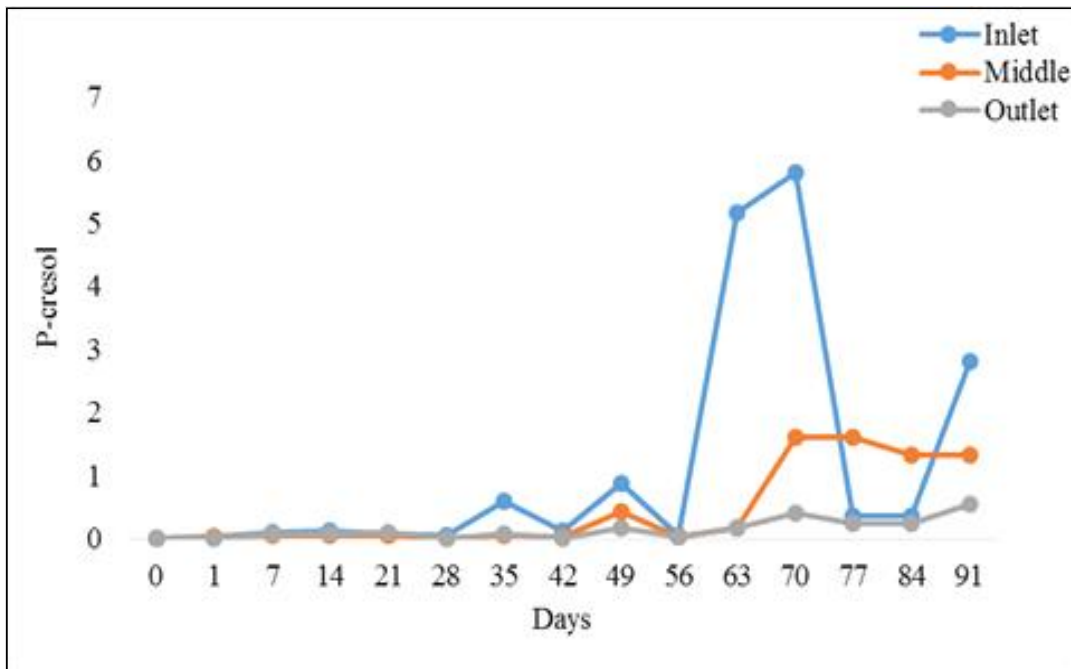


그림 180 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 p-크레졸에 대한 도표

- 그러나 미생물 성장이 시작된 후 p-크레졸의 생산이 두 번째 필터 사이에서 더 높았다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다. 두 번째 필터 후에 p-크레졸 농도가 감소하였는데, 이것은 p-크레졸을 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 p-크레졸의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다(그림 7).

표 11: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 p-크레졸에 대한 통계적 분석.

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
P-Cresol* (ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01
	7	3	0.08	0.07	0.00	0.03	0.06	0.11	0.05	0.02
	14	3	0.09	0.07	0.00	0.04	0.06	0.13	0.08	0.02
	21	3	0.08	0.08	0.00	0.03	0.05	0.11	0.06	0.02
	28	3	0.03	0.02	0.00	0.03	0.00	0.06	0.06	0.02
	35	3	0.24	0.07	0.09	0.30	0.06	0.59	0.53	0.17
	42	3	0.05	0.03	0.00	0.05	0.02	0.11	0.10	0.03
	49	3	0.50	0.44	0.13	0.36	0.17	0.88	0.72	0.21
	56	3	0.04	0.03	0.00	0.02	0.02	0.06	0.04	0.01
	63	3	1.83	0.18	8.30	2.88	0.16	5.16	5.00	1.66
	70	3	2.61	1.61	8.00	2.83	0.41	5.80	5.39	1.63
	77	3	0.73	0.36	0.58	0.76	0.23	1.61	1.38	0.44
	84	3	0.64	0.36	0.36	0.60	0.23	1.33	1.10	0.35
91	3	1.57	1.33	1.31	1.15	0.55	2.81	2.26	0.66	

*p-크레졸 = p-크레졸의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파르트)임.

- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 11에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 p-크레졸의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 이 결과로, p-크레졸의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다. 그러나 최종 두 주에서는 결과가 이전의 결과와 전적으로 반대되었다. 따라서 p-크레졸의 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻으려면 더 많은 주의 결과들을 분석해야 할 것이다(실험은 여전히 계속된다).
- 황 화합물: 메르캅탄 메탄올: 결과(그림 34)는 실험 전체를 통해서 메르캅탄 메탄올 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 두 번째 필터 후에 메르캅탄 메탄올 농도가 감소하였는데, 이것은 메르캅탄 메탄올을 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 메르캅탄 메탄올의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다.
- 전반적인 바이오 필터의 일별 성능은 표 12에 나와 있는데, 이 결과는 시간이 증가하면 메르캅탄 메탄올의 농도가 감소한다는 것을 보여 준다. 이것은 미생물 활성이 이미 발생했음을 의미한다. 이 결과로, 메르캅탄 메탄올의 농도가 두 번째 필터 후에 감소되었다. 그러나 최종 두 주에서는 결과가 이전의 결과와 전적으로 반대되었다. 따라서 메르캅탄 메탄올의 경우에 보다 더 좋은 결과를 얻으려면 더 많은 주의

결과들을 분석해야 할 것이다(실험은 여전히 계속된다).

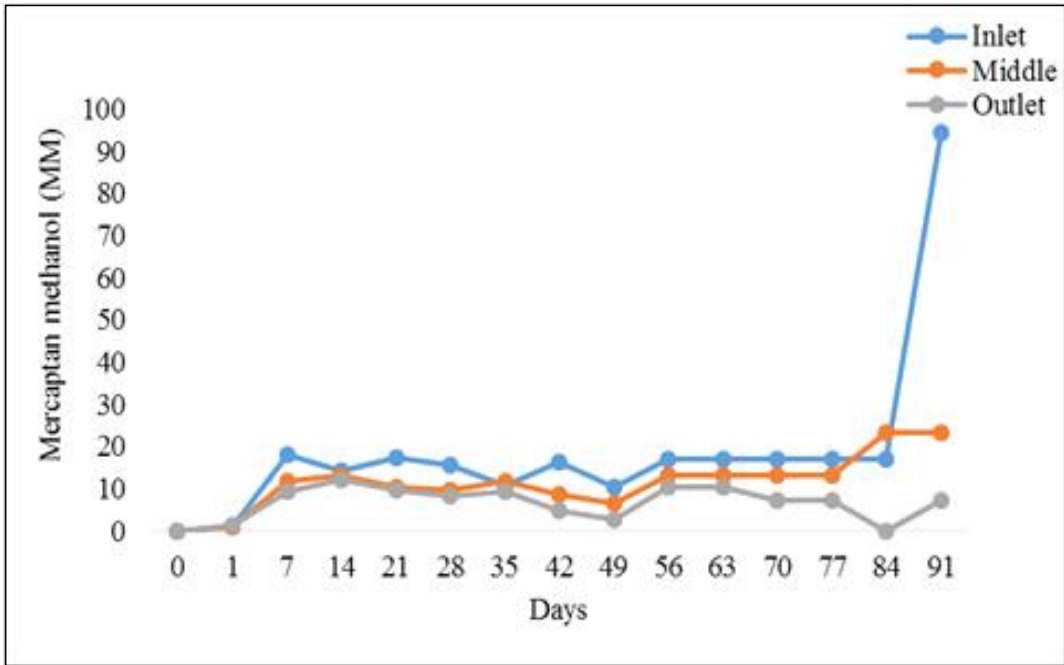


그림 182 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 메르캅탄 메탄올에 대한 도표

표 12: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 메르캅탄 메탄올에 대한 통계적 분석

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Mercaptan methanol*(ppbv)	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	3	1.05	1.06	0.00	0.04	1.00	1.08	0.08	0.02
	7	3	13.00	11.70	20.08	4.48	9.32	17.99	8.67	2.59
	14	3	13.10	13.21	0.92	0.96	12.08	13.99	1.91	0.55
	21	3	12.45	10.39	18.75	4.33	9.54	17.43	7.89	2.50
	28	3	11.10	9.62	14.87	3.86	8.21	15.48	7.27	2.23
	35	3	10.55	10.63	1.43	1.19	9.32	11.70	2.38	0.69
	42	3	9.84	8.66	32.84	5.73	4.80	16.07	11.28	3.31
	49	3	6.51	6.60	15.90	3.99	2.48	10.46	7.97	2.30
	56	3	13.50	13.21	11.22	3.35	10.31	16.99	6.68	1.93
	63	3	13.50	13.21	11.22	3.35	10.31	16.99	6.68	1.93
	70	3	2.36	0.00	16.76	4.09	0.00	7.09	7.09	2.36
	77	3	7.73	0.00	179.47	13.40	0.00	23.20	23.20	7.73
84	3	7.73	0.00	179.47	13.40	0.00	23.20	23.20	7.73	
91	3	7.73	0.00	179.47	13.40	0.00	23.20	23.20	7.73	

*메르캅탄 메탄올 = 메르캅탄 메탄올의 단위는 ppbv(체적 기준, 10억 당 파트)임.

- 이산화탄소 (CO₂):** 결과(그림 36)는 실험 전체를 통해서 이산화탄소 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 두 번째 필터 후에 이산화탄소 농도가 감소하였는데, 이것은 이산화탄소를 활용할 책임이 있는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 이산화탄소의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다. 이것은 악취 나는 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다.

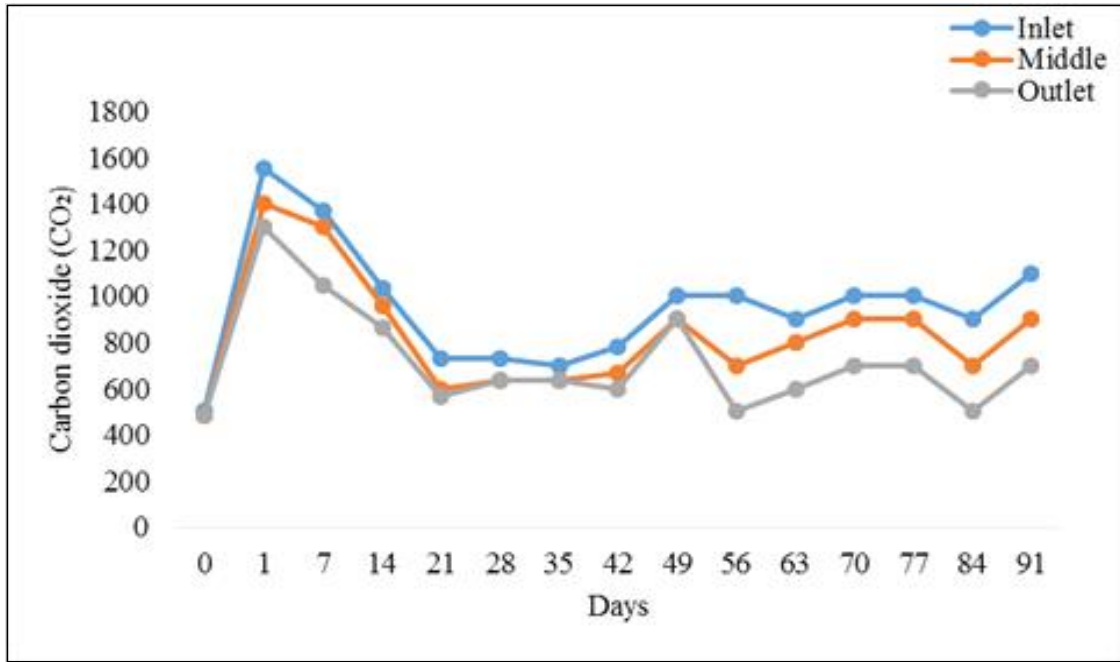
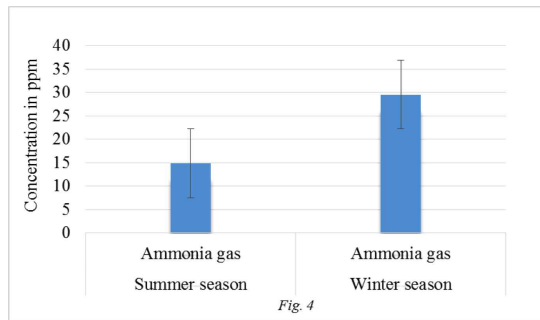
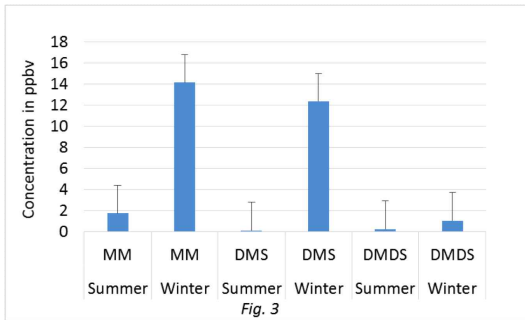
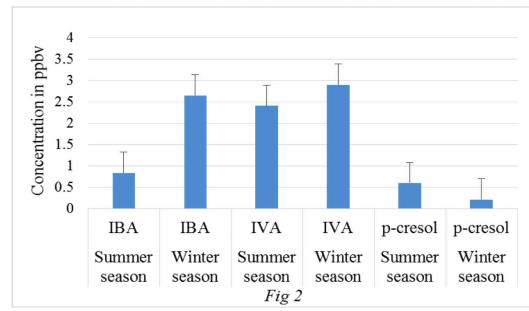
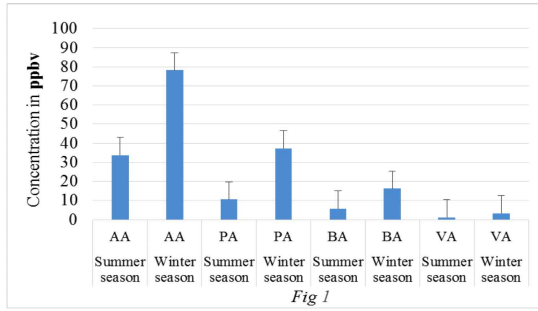


그림 184 바이오 필터 안쪽의 세 가지 상이한 표본추출 지점(그림 7)에 따른 주변 이산화탄소에 대한 도표

표 13: 일별 분석에 기초한, 주변 환경 내 이산화탄소에 대한 통계적 분석

Parameter	Day	N	Mean	Median	Variance	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Range	Std. Error
Carbon dioxide* (ppbv)	0	3	489	483	93	10	483	500	17	6
	1	3	1417	1400	15833	126	1300	1550	250	73
	7	3	1239	1300	27870	167	1050	1367	317	96
	14	3	953	960	6978	84	867	1033	167	48
	21	3	633	600	7778	88	567	733	167	51
	28	3	667	633	3333	58	633	733	100	33
	35	3	656	633	1481	38	633	700	67	22
	42	3	683	667	8611	93	600	783	183	54
	49	3	933	900	3333	58	900	1000	100	33
	56	3	733	700	63333	252	500	1000	500	145
	63	3	767	800	23333	153	600	900	300	88
	70	3	867	900	23333	153	700	1000	300	88
	77	3	867	900	23333	153	700	1000	300	88
	84	3	700	700	40000	200	500	900	400	115
91	3	900	900	40000	200	700	1100	400	115	

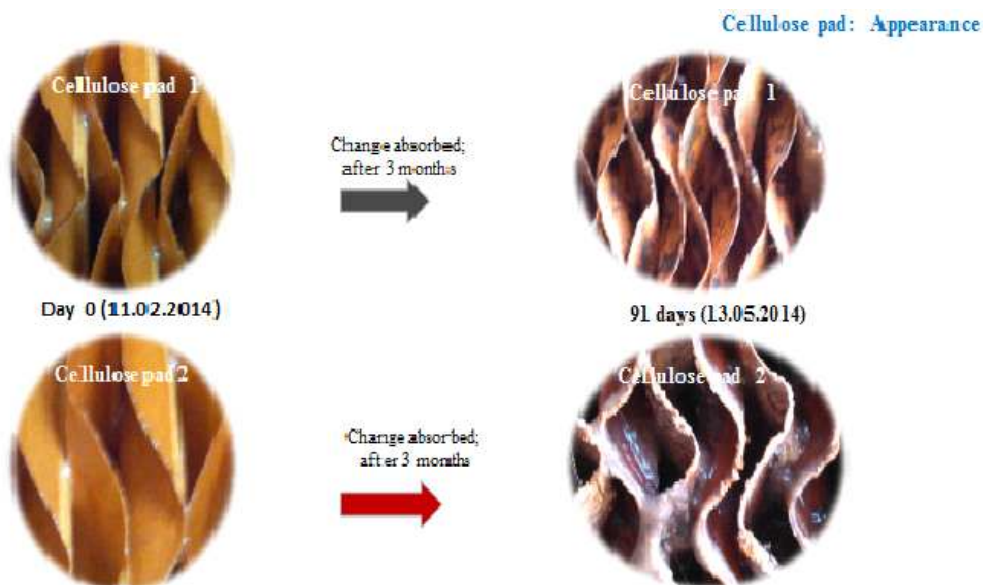
*이산화탄소(co2)= 이산화탄소의 단위는 ppm(10억 당 파르트)임.



- 제2협동 연구팀은 1차년도 수행과제 일환으로 12개의 양돈농장을 계절별(여름, 겨울)로 채취한 악취화합물 15여 항목을 현장방문 조사하였다(Fig. 1~4). 암모니아는 다른 악취물질에 비하여 계절에 상관없이 돈사에서 발생하는 주요 악취물질임이 확인되었다. 본 연구는 암모니아뿐만 아니라 황화수소 등 15개 항목의 악취화합물의 저감을 연구해야 하므로 다른 악취화합물에 대하여 분석하였다. 따라서 제3세부과제는 환경제어변수로서 암모니아를 활용하는 것은 현실적이라 판단된다.
- 더불어 악취정도를 파악함에 있어 관능법 대비 정밀한 분석법인 GC를 통해 악취화합물 DMS, DMDS 등 15개 항목을 대상 악취저감연구 수행하였다. 하지만 panelist의 교육 패널실험을 위한 실험대 설치 등 부수적인 설비가 필요하기 때문에 당초 RFP상에 없는 ‘관능법에 의한 악취저감효율 검증’을 최종년에 보완하도록 함은 현실적이지 못한 것으로 판단된다.
- 그러나 본 연구가 비축산 농가의 정주민의 악취에 대한 관능적 거부감을 반영해야 하므로 본 연구실에서 보유하고 있는 하나의 olfactory meter를 이용하여 순환적으로 교육시킨 대학원생들을 패널로 하여 관능적 평가를 차년도 결과에 반영할 예정이다.
- 바이오 필터를 만드는 것은 세균이 번성하도록 하여 공기로부터 악취를 활발하게 흡수하도록 할 적절한 환경을 제공하기 위한 것이다. 이것은 큰 표면이 있어야 되는 일인데, 거기에 세균이 부착해서 필터를 축축하게 만들 수 있기 때문이다. 세균 표면에다 물을 주거나 필터로 들어오는 공기를 축축하게 하면 축축하게 만들 수 있을 것이다. 조사하였다. 하지만, 낮은 공기 농도의 바이오필터와 결합하여 악취를 제거하는 것에 대해서는 연구가 거의 이뤄지지 않고 있다. 또한, 전통적인 바이오 필터의 효율은 유지하기가 어렵다(Riis 등 2008). 따라서 새로운 유형의 바이오 필터가 필요하다.
- 세균을 필터에다 접종시킨다면, 최적의 조건 하에서, 균 막이 표면에서 발달하기 시작할 것이다. 균 막 형성은 크게 세 가지 유형의 필터로 나뉠 수 있다: (1) 바이오 필터인데, 여기서는 들어오는 공기가 필터의 표면에 도달하기 전에 축축해진다. (2) 침투성 바이오

필터인데, 여기서는 필터에 물을 공급하여 축축함을 유지한다. (3) 생물 솔인데, 여기서는 세균 활성이 물로 축이는 일에 제한되며, 필터가 포함되어 있다면 들어오는 공기와 필터 면적을 최소한으로 유지할 수 있게 된다(Devanny 등, 1999).

- 몇몇 연구들이 바이오 필터(Sheridan 등, 2002)나 침투성 바이오 필터(Melse 등, 2012)를 사용해서 돼지 농장으로부터 NH₃와 악취를 제거하는 것에 대해 필터는 두 섹션으로 나뉘는데, 이는 각 섹션 별로 상이한 화합물을 취하여 대사시키기 위함이다(그림 7). 첫 번째 섹션은 먼지를 위한 함정 역할을 하는데, 여기서는 NH₃, 먼지 입자 및 용해성 유기 화합물들이 필터 표면을 일정하게 흐르는 물에 의해 붙들린다. 두 번째 섹션은 침투성 바이오 필터 역할을 하는데, 여기서는 용해성이 약한 유기 화합물들을 더 잘 취합하고 제거하기 위해 균 막 표면의 액상 경계층을 최소화함으로써 물 흐름을 제한한다. 암모니아 산화 세균의 제품 저해는 물 공급과 배수를 두 섹션 위로 흐르는 물의 전도성에 따라 통제함으로써 최소화된다(Ottosen 등 2011).
- 올바른 필터 물질을 선택하는 것은 필터 물질 및 운영비를 최소로 유지하려고 하는 바이오 필터 부서의 주요한 과업이다. 필터 물질의 선택에 영향을 주는 주요한 변수는 세 가지이다: 물질의 가격, 물질의 수명 및 물질의 구조. 통상적으로는 목재 부스러기, 짚이나 토탄(土炭) 같은 값싼 물질들이 사용된다(Iranpour 등 2005). 취득 비용이 적은 물질은 시간이 흐르면 분해되므로 비교적 수명이 짧다. 그것들은 또한 조밀한 구조를 갖고 있는데, 이런 구조는 분해 도중 물질이 붕괴할 때 증가된다. 따라서 본 연구에서는 상기의 모든 세 변수를 충족시키는 섬유소 패드를 선택했다.



- 대장균이나 총 대장균 같은 다른 지표들과는 달리, HPC 생물의 농도는 여전히 어떤 시스템 내에 존재할 것이다. 어떤 분포 시스템 내에서, HPC 세균의 밀도 증가는 대개 세균 재성장의 결과이다. 밀도 도달은 시스템의 세균 속성, 온도, 거주 시간, 살균제

잔류물의 존재 여부, 구성 물질, 표면 대 체적의 비율, 흐름 조건, 성장을 위한 영양소 제공 가능성, 염소 처리된 시스템 내 염소/암모니아 비율 및 질산화 세균의 활동 등에 의해 영향을 받을 수 있다.

- 일정한 실내 온도를 유지하기 위해서는 대개 돼지 농장의 환기 비율을 규제한다. 온도가 증가하면 환기 비율도 증가하는데, 이는 더 많은 에너지 비용을 초래한다. 바이오 필터에 필터 물질이나 먼지나 생물자원이 끼면 공기 저항이 걸리기 때문이다(Andreasen 등, 2012).
- 굴 껍질, 용암 돌맹이나 진흙 알갱이 같은 물질들은 분해되기가 더 어려울 것이다. 이런 물질들은 여전히 높은 공기 저항을 갖고 있어서 비싸지는 않으나 분해성이 덜할 것이다. 중합체 구조나 (Gabriel 및 Deshusses 2003; Melse 등 2012) 섬유소 패드 필터는 이전에 설명한 필터 물질이 비해 공기 저항이 적다. 이런 물질은 값이 더 비싸겠지만, 섬유소 패드로 사용하면 시간이 지남에 따라 분해될 것이다.
- 이전에는 표준 접시 수로 알려져 있던 유기영양의 접시 수(HPC)는 표본 속에 살아 있는 유기영양의 세균(탄소와 질소의 유기 화합물을 영양소로 필요로 함)의 수를 추정하는 절차이다. 이런 시험은 표본 품질 및 대장균 시험 결과의 중대성에 대해 유용한 정보와 및 지원 자료를 제공할 수 있다. 유기 영양 생물은 유기 화합물을 이용해서 탄소 필요량의 전부나 대부분을 충족시키는 미생물이다.
- 유기영양 접시의 수(HPC)는 배양 배지에다 균집을 유기영양 식물 상의 수준 가량으로 형성시키는 미생물 방법이다. 하지만, HPC는 현재 생물의 유형이나 그것들의 출처를 타나내지 않는다. 또한, HPC 시험을 통한 결과는 총 유기영양 농도에 대한 정확한 평가가 아니라 존재하는 배양 가능한 생물을 가리킨다는 것에 주목하여야 한다.

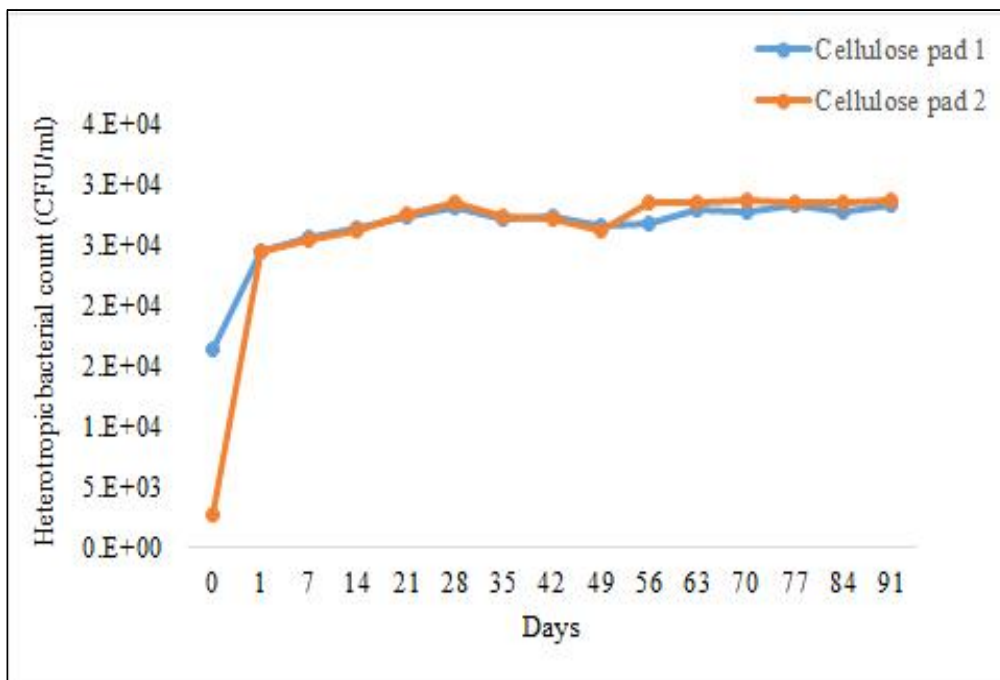


그림 188 상이한 시간 간격에 따른, 포장재(섬유소 패드)에 부착된 배양 가능한 유기영양의 세균(CFU/ml)의 총 수

- 예를 들어, 직접 현미경을 사용하여 발견한 총 세균의 대략 1%만이 HPC 절차를 사용해서 계산된다는 것은 이미 알려진 바이다. 이런 차이에 대한 가능한 설명에는

생존 가능하지만 배양 가능하지는 않은 상태의 몇몇 세균에 대한 존재가 포함되며, HPC 배지는 모든 유기 영양 생물의 성장에 필요한 복합 영양 요건을 제공하지 않는다는 사실이 포함된다.

- 비록 유기영양소 암모니아 섭취가 갖가지 환경에서 대단할 수 있겠으나(Kirchman, 1994), 이런 차이에 대한 하나의 가능한 설명은 탈질산화를 통한 용존 질소 화합물의 이화(異化)에 의한 활용일 수가 있다.
- 결과(그림 39)는 실험 전체에 걸쳐서 유기영양의 세균 농도가 섬유소 패드 2에서 섬유소 패드 1(표본추출 지점, 그림 7)에 비해 더 높았다는 것을 보여준다. 이것은 세균 성장이 두 필터 모두에서 발생했다는 것과 그것들은 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 70일 후에도 유기영양 세균의 수는 거의 불변이었다. 이것은 세균 성장이 그 지점에서 안정적이었다는 것을 의미한다. 이것은 약취 화합물의 지속적인 분해가 바이오필터 시스템 내에서 어떤 식으로든 발생했다는 것을 가리킨다.

표 14. 포장재(섬유소 패드)에 부착된 배양 가능한 유기영양의 세균(CFU/ml)에 대한 통계 분석

	Day of sampling	Place	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min.	Max.	Range	Std. E
Heterotrophic Bacteria Plate Counts (CFU/ml)	0	Cellulose pad 1	1.63E+04	1.63E+04	4.50E+04	2.12E+02	1.61E+04	1.64E+04	3.00E+02	1.50E+02
		Cellulose pad 2	2.70E+03	2.70E+03	2.00E+04	1.41E+02	2.60E+03	2.80E+03	2.00E+02	1.00E+02
	1	Cellulose pad 1	2.44E+04	2.44E+04	1.25E+05	3.54E+02	2.41E+04	2.46E+04	5.00E+02	2.50E+02
		Cellulose pad 2	2.43E+04	2.43E+04	1.80E+05	4.24E+02	2.40E+04	2.46E+04	6.00E+02	3.00E+02
	7	Cellulose pad 1	2.56E+04	2.56E+04	5.00E+05	7.07E+02	2.51E+04	2.61E+04	1.00E+03	5.00E+02
		Cellulose pad 2	2.53E+04	2.53E+04	1.80E+05	4.24E+02	2.50E+04	2.56E+04	6.00E+02	3.00E+02
	14	Cellulose pad 1	2.63E+04	2.63E+04	4.50E+04	2.12E+02	2.61E+04	2.64E+04	3.00E+02	1.50E+02
		Cellulose pad 2	2.61E+04	2.61E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.60E+04	2.62E+04	2.00E+02	1.00E+02
	21	Cellulose pad 1	2.72E+04	2.72E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.71E+04	2.73E+04	2.00E+02	1.00E+02
		Cellulose pad 2	2.75E+04	2.75E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.74E+04	2.76E+04	2.00E+02	1.00E+02
	28	Cellulose pad 1	2.80E+04	2.80E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.79E+04	2.81E+04	2.00E+02	1.00E+02
		Cellulose pad 2	2.84E+04	2.84E+04	1.25E+05	3.54E+02	2.81E+04	2.86E+04	5.00E+02	2.50E+02
	35	Cellulose pad 1	2.70E+04	2.70E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.69E+04	2.71E+04	2.00E+02	1.00E+02
		Cellulose pad 2	2.73E+04	2.73E+04	4.50E+04	2.12E+02	2.71E+04	2.74E+04	3.00E+02	1.50E+02
	42	Cellulose pad 1	2.72E+04	2.72E+04	3.92E+06	1.98E+03	2.58E+04	2.86E+04	2.80E+03	1.40E+03
		Cellulose pad 2	2.71E+04	2.71E+04	5.00E+03	7.07E+01	2.70E+04	2.71E+04	1.00E+02	5.00E+01
	49	Cellulose pad 1	2.65E+04	2.65E+04	2.45E+05	4.95E+02	2.61E+04	2.68E+04	7.00E+02	3.50E+02
		Cellulose pad 2	2.62E+04	2.62E+04	4.50E+04	2.12E+02	2.60E+04	2.63E+04	3.00E+02	1.50E+02
	56	Cellulose pad 1	2.68E+04	2.68E+04	1.25E+05	3.54E+02	2.65E+04	2.70E+04	5.00E+02	2.50E+02
		Cellulose pad 2	2.85E+04	2.85E+04	4.05E+05	6.36E+02	2.80E+04	2.89E+04	9.00E+02	4.50E+02
	63	Cellulose pad 1	2.78E+04	2.78E+04	1.28E+06	1.13E+03	2.70E+04	2.86E+04	1.60E+03	8.00E+02
		Cellulose pad 2	2.85E+04	2.85E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.84E+04	2.86E+04	2.00E+02	1.00E+02
	70	Cellulose pad 1	2.76E+04	2.76E+04	5.00E+05	7.07E+02	2.71E+04	2.81E+04	1.00E+03	5.00E+02
		Cellulose pad 2	2.87E+04	2.87E+04	8.00E+04	2.83E+02	2.85E+04	2.89E+04	4.00E+02	2.00E+02
	77	Cellulose pad 1	2.83E+04	2.83E+04	1.80E+05	4.24E+02	2.80E+04	2.86E+04	6.00E+02	3.00E+02
		Cellulose pad 2	2.85E+04	2.85E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.84E+04	2.86E+04	2.00E+02	1.00E+02
	84	Cellulose pad 1	2.76E+04	2.76E+04	5.00E+05	7.07E+02	2.71E+04	2.81E+04	1.00E+03	5.00E+02
		Cellulose pad 2	2.85E+04	2.85E+04	2.00E+04	1.41E+02	2.84E+04	2.86E+04	2.00E+02	1.00E+02
	91	Cellulose pad 1	2.83E+04	2.83E+04	1.80E+05	4.24E+02	2.80E+04	2.86E+04	6.00E+02	3.00E+02
		Cellulose pad 2	2.87E+04	2.87E+04	8.00E+04	2.83E+02	2.85E+04	2.89E+04	4.00E+02	2.00E+02

- 표 14는 전반적인 바이오필터의 성능을 매일 단위로 보여준다. 이런 결과는 시간이 증가하면 배양 가능한 유기영양 세균의 농도도 증가한다는 것을 나타낸다. 이는 미생물 활동이 이미 발생했으며 그 결과로 약취 화합물의 농도가 두 번째 필터 이후에 감소했다는 것(이전 섹션에서 언급됨)을 의미한다. 그러나 마지막 몇 주 동안의 결과는 배양 가능한 유기영양 세균의 경우에 어떤 불변성이 유지되었다는 것을 보여준다.
- 대장 세균은 막대 모양, 그람 음성의, 포자를 형성하지 않는 세균으로 정의된다. 이 세균은 35 - 37°C에서 배양할 경우 유당을 발효시켜 산과 가스를 생산할 수

있다(APHA;1995). 대장균은 수중 환경, 토양 및 초목에게서 발견될 수 있다; 그것들은 온혈 동물(예: 돼지)의 배설물 속에 보편적으로 다량 존재한다. 대장 세균은 통상 식품과 물의 위생 품질에 대한 세균 지표로 사용된다.

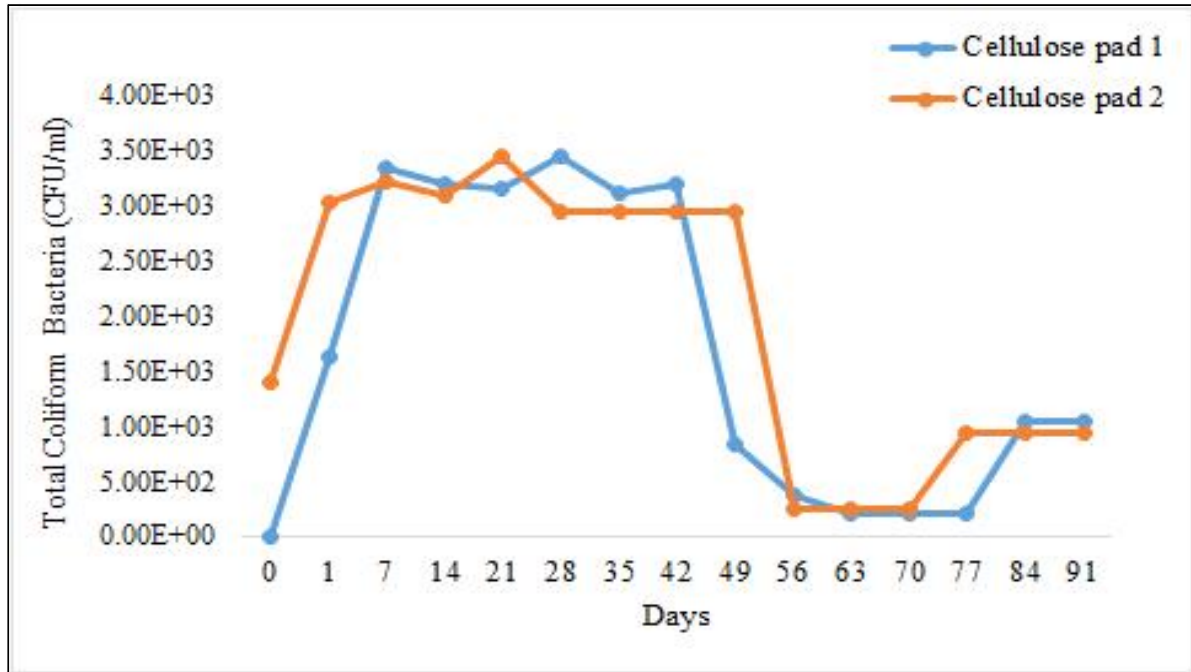


그림 190 상이한 시간 간격에 따른, 포장재(섬유소 패드)에 부착된 대장 세균(CFU/ml)의 총 수)

- 결과(그림 41)는 실험 전체에 걸쳐서 대장 세균(CFU/ml) 농도가 섬유소 패드 2(표본추출 지점, 그림 7)에서 섬유소 패드 1에 비해 더 높았다는 것을 보여준다. 이것은 세균 성장이 두 필터 모두에서 발생했다는 것과 그것들은 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 77일 후에도 두 섬유소 패드 모두에서 대장 세균의 수는 거의 불변이었다. 이것은 세균 성장이 그 지점에서 안정적이었다는 것을 의미한다. 이것은 대장균의 감소가 바이오필터 시스템 내에서 어떤 식으로든 발생했다는 것을 가리킨다. 이는 이런 바이오필터 시스템이 악취 가스 감소에 유용할 뿐 아니라 병원성 미생물이 직접 환경으로 들어가지 못하도록 막는 데도 유용하다는 것을 의미한다.
- 표 15는 대장 세균과 관련하여 전반적인 바이오필터의 성능을 매일 단위로 보여준다. 이런 결과는 시간이 증가하면 배양 가능한 총 대장 세균도 증가한다는 것을 나타낸다. 이는 미생물 활동이 이미 발생했으며 그 결과로 악취 화합물의 농도가 두 번째 필터 이후에 감소했다는 것(이전 섹션에서 언급됨)을 의미한다. 그러나 마지막 몇 주 동안의 결과는 배양 가능한 병원성 세균(총 장내 세균)의 경우에 어떤 불변성이 유지되었다는 것을 보여준다.

표 15. 포장재(섬유소 패드)에 부착된 배양 가능한 대장 세균 수(CFU/ml)에 대한 통계 분석

	Day of sampling	Place	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min.	Max.	Range	Std. E
Total Coliform Bacteria (CFU/ml)	0	Cellulose pad 1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		Cellulose pad 2	1.40E+03	1.40E+03	5.00E+01	7.07E+00	1.39E+03	1.40E+03	1.00E+01	5.00E+00
	1	Cellulose pad 1	1.63E+03	1.63E+03	7.20E+03	8.49E+01	1.57E+03	1.69E+03	1.20E+02	6.00E+01
		Cellulose pad 2	3.03E+03	3.03E+03	5.00E+01	7.07E+00	3.02E+03	3.03E+03	1.00E+01	5.00E+00
	7	Cellulose pad 1	3.34E+03	3.34E+03	1.80E+03	4.24E+01	3.31E+03	3.37E+03	6.00E+01	3.00E+01
		Cellulose pad 2	3.22E+03	3.22E+03	2.88E+04	1.70E+02	3.10E+03	3.34E+03	2.40E+02	1.20E+02
	14	Cellulose pad 1	3.20E+03	3.20E+03	1.25E+03	3.54E+01	3.17E+03	3.22E+03	5.00E+01	2.50E+01
		Cellulose pad 2	3.10E+03	3.10E+03	6.13E+04	2.47E+02	2.92E+03	3.27E+03	3.50E+02	1.75E+02
	21	Cellulose pad 1	3.16E+03	3.16E+03	5.00E+01	7.07E+00	3.15E+03	3.16E+03	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	3.45E+03	3.45E+03	2.45E+03	4.95E+01	3.41E+03	3.48E+03	7.00E+01	3.50E+01
	28	Cellulose pad 1	3.44E+03	3.44E+03	1.25E+03	3.54E+01	3.41E+03	3.46E+03	5.00E+01	2.50E+01
		Cellulose pad 2	2.95E+03	2.95E+03	1.80E+03	4.24E+01	2.92E+03	2.98E+03	6.00E+01	3.00E+01
	35	Cellulose pad 1	3.12E+03	3.12E+03	5.00E+01	7.07E+00	3.11E+03	3.12E+03	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	2.95E+03	2.95E+03	1.80E+03	4.24E+01	2.92E+03	2.98E+03	6.00E+01	3.00E+01
	42	Cellulose pad 1	3.19E+03	3.19E+03	4.50E+02	2.12E+01	3.17E+03	3.20E+03	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	2.95E+03	2.95E+03	1.80E+03	4.24E+01	2.92E+03	2.98E+03	6.00E+01	3.00E+01
	49	Cellulose pad 1	8.25E+02	8.25E+02	2.21E+04	1.48E+02	7.20E+02	9.30E+02	2.10E+02	1.05E+02
		Cellulose pad 2	2.95E+03	2.95E+03	1.80E+03	4.24E+01	2.92E+03	2.98E+03	6.00E+01	3.00E+01
	56	Cellulose pad 1	3.70E+02	3.70E+02	5.00E+03	7.07E+01	3.20E+02	4.20E+02	1.00E+02	5.00E+01
		Cellulose pad 2	2.55E+02	2.55E+02	5.00E+01	7.07E+00	2.50E+02	2.60E+02	1.00E+01	5.00E+00
	63	Cellulose pad 1	2.10E+02	2.10E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.90E+02	2.30E+02	4.00E+01	2.00E+01
		Cellulose pad 2	2.55E+02	2.55E+02	5.00E+01	7.07E+00	2.50E+02	2.60E+02	1.00E+01	5.00E+00
	70	Cellulose pad 1	2.10E+02	2.10E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.90E+02	2.30E+02	4.00E+01	2.00E+01
		Cellulose pad 2	2.55E+02	2.55E+02	5.00E+01	7.07E+00	2.50E+02	2.60E+02	1.00E+01	5.00E+00
	77	Cellulose pad 1	2.10E+02	2.10E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.90E+02	2.30E+02	4.00E+01	2.00E+01
		Cellulose pad 2	9.35E+02	9.35E+02	8.41E+04	2.90E+02	7.30E+02	1.14E+03	4.10E+02	2.05E+02
	84	Cellulose pad 1	1.05E+03	1.05E+03	4.50E+02	2.12E+01	1.03E+03	1.06E+03	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	9.35E+02	9.35E+02	3.61E+05	6.01E+02	5.10E+02	1.36E+03	8.50E+02	4.25E+02
	91	Cellulose pad 1	1.05E+03	1.05E+03	4.50E+02	2.12E+01	1.03E+03	1.06E+03	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	9.35E+02	9.35E+02	3.61E+05	6.01E+02	5.10E+02	1.36E+03	8.50E+02	4.25E+02

- 대장균은 그람 음성의, 기능적으로 혐기성인, 막대 모양의 속내 세균이다(옥스퍼드 영어 사전; 2005). 이 세균은 통상 온혈 생물(온혈동물)의 대장에서 발견 된다(대장균 O157:H7 발발은 분쇄한 쇠고기 소비와 연관됨, 2002년 6월-7월). 대부분의 대장균 품종은 무해하지만, 몇몇 혈청형은 숙주 내에서 심각한 식중독을 초래할 수 있으며 가끔 식품 오염으로 인한 제품 리콜을 일으킨다(대장균 O157:H7 발발은 분쇄한 쇠고기 소비와 연관됨, 2002년 6월-7월).
- 대장균은 그람 음성이며(세균은 투명한 자색 염료를 보유하고 있지 않음), 기능적으로 혐기성이며(산소가 존재한다면 호기성 호흡에 의해 ATP를 만들지만 산소가 존재하지 않는다면 발효나 혐기성 호흡으로 전환할 수 있음) 포자를 형성하지 않는다. 세포는 대개 막대 모양이며 길이가 약 2.0 마이크로미터(μm)이며 직경이 0.25 - 1.0 μm 이고 세포 체적이 0.6 - 0.7 μm^3 이다(Kubitschek 등, 1990). 이것은 아주 다양한 기질 위에서 살 수 있다. 혐기성 조건 속에서 대장균은 혼합된 산 발효를 사용해서 유산염, 숙신산염, 에탄올, 아세트산염 및 이산화탄소를 산출한다. 혼합된 산 발효 중 여러 경로를 통해서 수소 가스를 산출하므로, 대장균이 메탄 생성 미생물이나 황산염 감소 세균 같은 수소 소비 생물과 더불어 사는 경우와 같이, 이런 경로들은 낮은 수준의 수소를 필요로 한다(Madigan 등, 2006).
- 결과(그림 43)는 실험 전체에 걸쳐서 대장균(CFU/ml)의 농도가 섬유소 패드 1에서 섬유소 패드 2(표본추출 지점, 그림 7)이 비해 더 높았다는 것을 보여준다. 이것은 세균 성장이 두 필터 모두에서 발생했다는 것과 그것들은 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 77일 후에도 섬유소 패드 모두에서 대장균의 수는 거의 불변이었다. 이것은 세균 성장이 그 지점에서 안정적이었다는 것을 의미한다. 이것은 대장균의 감소가 바이오필터 시스템 내에서 어떤 식으로든 발생했다는 것을 가리킨다. 이는 이런

바이오필터 시스템이 악취 가스 감소에 유용할 뿐 아니라 병원성 미생물이 직접 환경으로 들어가지 못하도록 막는 데도 유용하다는 것을 의미한다.

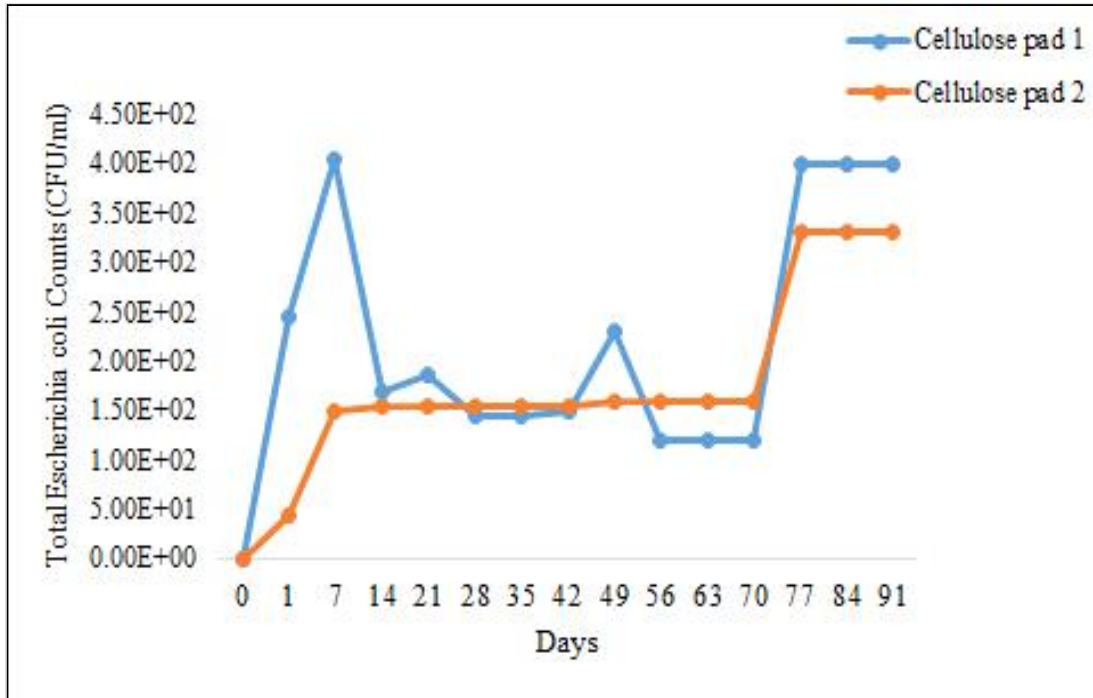


그림 192 상이한 시간 간격에 따른, 포장재(섬유소 패드)에 부착된 대장균(CFU/ml)의 총 수

- 표 16은 대장균과 관련하여 전반적인 바이오필터의 성능을 매일 단위로 보여준다. 이런 결과는 시간이 증가하면 배양 가능한 총 대장균도 증가한다는 것을 나타낸다. 이는 미생물 활동이 이미 발생했으며 그 결과로 악취 화합물의 농도가 두 번째 필터 이후에 감소했다는 것(이전 섹션에서 언급됨)을 의미한다. 그러나 마지막 몇 주 동안의 결과는 배양 가능한 병원성 세균(총 대장균)의 경우에 어떤 불변성이 유지되었다는 것을 보여준다.

표 16. 포장재(섬유소 패드)에 부착된 배양 가능한 대장균 수(CFU/ml)에 대한 통계 분석

Total Escherichia coli Counts (CFU/ml)	Day of sampling	Place	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min.	Max.	Range	Std. E
	0		Cellulose pad 1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cellulose pad 2			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1		Cellulose pad 1	2.45E+02	2.45E+02	2.45E+03	4.95E+01	2.10E+02	2.80E+02	7.00E+01	3.50E+01
		Cellulose pad 2	4.50E+01	4.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	4.00E+01	5.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
7		Cellulose pad 1	4.05E+02	4.05E+02	5.00E+01	7.07E+00	4.00E+02	4.10E+02	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	1.50E+02	1.50E+02	2.00E+02	1.41E+01	1.40E+02	1.60E+02	2.00E+01	1.00E+01
14		Cellulose pad 1	1.70E+02	1.70E+02	2.00E+02	1.41E+01	1.60E+02	1.80E+02	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.55E+02	1.55E+02	4.50E+02	2.12E+01	1.40E+02	1.70E+02	3.00E+01	1.50E+01
21		Cellulose pad 1	1.85E+02	1.85E+02	5.00E+01	7.07E+00	1.80E+02	1.90E+02	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	1.55E+02	1.55E+02	4.50E+02	2.12E+01	1.40E+02	1.70E+02	3.00E+01	1.50E+01
28		Cellulose pad 1	1.45E+02	1.45E+02	5.00E+01	7.07E+00	1.40E+02	1.50E+02	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	1.55E+02	1.55E+02	4.50E+02	2.12E+01	1.40E+02	1.70E+02	3.00E+01	1.50E+01
35		Cellulose pad 1	1.45E+02	1.45E+02	5.00E+01	7.07E+00	1.40E+02	1.50E+02	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	1.55E+02	1.55E+02	4.50E+02	2.12E+01	1.40E+02	1.70E+02	3.00E+01	1.50E+01
42		Cellulose pad 1	1.50E+02	1.50E+02	2.00E+02	1.41E+01	1.40E+02	1.60E+02	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.55E+02	1.55E+02	4.50E+02	2.12E+01	1.40E+02	1.70E+02	3.00E+01	1.50E+01
49		Cellulose pad 1	2.30E+02	2.30E+02	8.00E+02	2.83E+01	2.10E+02	2.50E+02	4.00E+01	2.00E+01
		Cellulose pad 2	1.60E+02	1.60E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.40E+02	1.80E+02	4.00E+01	2.00E+01
56		Cellulose pad 1	1.20E+02	1.20E+02	2.00E+02	1.41E+01	1.10E+02	1.30E+02	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.60E+02	1.60E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.40E+02	1.80E+02	4.00E+01	2.00E+01
63		Cellulose pad 1	1.20E+02	1.20E+02	2.00E+02	1.41E+01	1.10E+02	1.30E+02	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.60E+02	1.60E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.40E+02	1.80E+02	4.00E+01	2.00E+01
70		Cellulose pad 1	1.20E+02	1.20E+02	2.00E+02	1.41E+01	1.10E+02	1.30E+02	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.60E+02	1.60E+02	8.00E+02	2.83E+01	1.40E+02	1.80E+02	4.00E+01	2.00E+01
77		Cellulose pad 1	4.00E+02	4.00E+02	1.62E+04	1.27E+02	3.10E+02	4.90E+02	1.80E+02	9.00E+01
		Cellulose pad 2	3.30E+02	3.30E+02	1.80E+03	4.24E+01	3.00E+02	3.60E+02	6.00E+01	3.00E+01
84		Cellulose pad 1	4.00E+02	4.00E+02	1.62E+04	1.27E+02	3.10E+02	4.90E+02	1.80E+02	9.00E+01
		Cellulose pad 2	3.30E+02	3.30E+02	1.80E+03	4.24E+01	3.00E+02	3.60E+02	6.00E+01	3.00E+01
91		Cellulose pad 1	4.00E+02	4.00E+02	1.62E+04	1.27E+02	3.10E+02	4.90E+02	1.80E+02	9.00E+01
		Cellulose pad 2	3.30E+02	3.30E+02	1.80E+03	4.24E+01	3.00E+02	3.60E+02	6.00E+01	3.00E+01

- 배설물 대장균은 기능적으로 혐기성이며 막대 모양이며 그람 음성이며 포자를 만들지 않는 세균이다. 대장 세균은 일반적으로 온혈 동물(돼지)의 내장에서 발원한다. 배설물 대장균은 담즙염이나 유사한 표면 매개물이 존재하는 곳에서 성장 가능하며 산화효소 음성이고 $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 의 유당으로부터 48시간 이내에 산과 가스를 산출해 낸다(Doyle 등, 2006). "열 내성 대장균"이란 용어가 더 옳으며 "배설물 대장균"보다 도 잘 수용된다[수질 감시].
- 대장 세균에는 배설물에서 발원하는 속들(예: 대장균)뿐 아니라 배설물 기원의 속들(예: Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter)도 포함된다. 분석은 배설물 오염에 대한 지표로 삼기 위함이다; 보다 더 구체적으로 말한다면, 배설물 속에 존재하는 다른 병원균들에 대한 지표 미생물인 대장균을 말한다. 어떤 시스템 속에 배설물 대장균이 존재한다고 해도 직접적으로 해가 되지 않을 것이며 반드시 배설물의 존재를 가리키는 것도 아니다(Doyle 등, 2006).

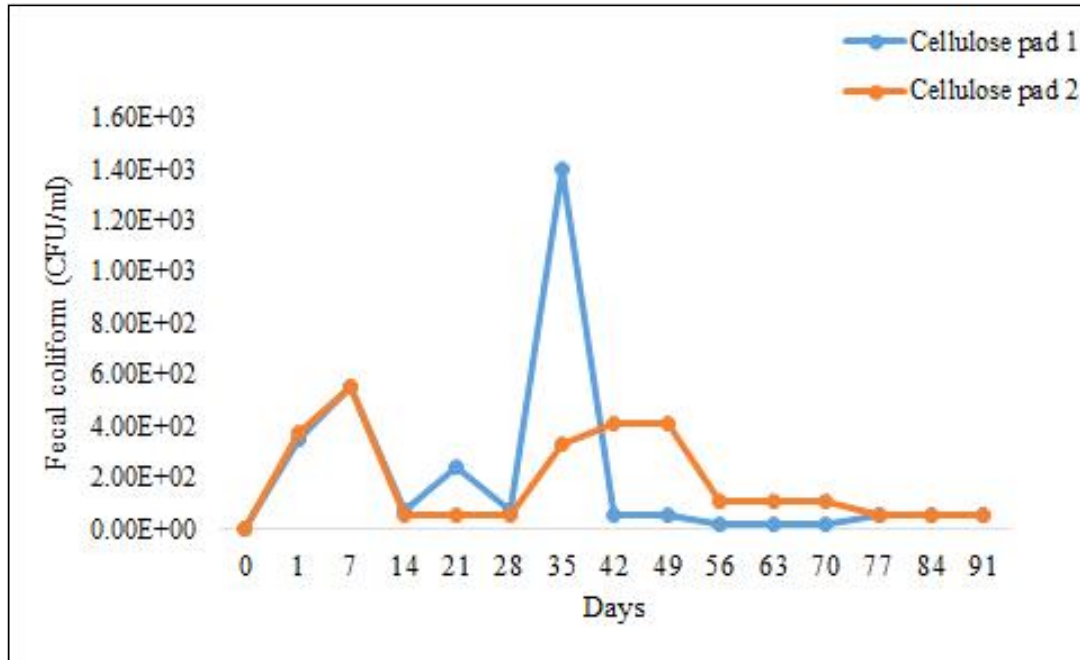


그림 194 상이한 시간 간격에 따른, 포장재(섬유소 패드)에 부착된 배설물 대장 세균(CFU/ml)의 총 수

- 결과(그림 45)는 실험 전체에 걸쳐서 배설물 대장 세균(CFU/ml)의 총 수가 섬유소 패드 1에서 섬유소 패드 2(표본추출 지점, 그림 7)에 비해 더 높았다는 것을 보여준다. 이것은 세균 성장이 두 필터 모두에서 발생했다는 것과 그것들은 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 28일 후에도 섬유소 패드 2에서 배설물 대장 세균의 수는 거의 불변이었다. 이것은 섬유소 패드 2에서 세균 성장을 위한 식품이 쉽게 조달되었음을 의미한다. 77째 일부터 배설물 대장 세균 수는 거의 불변이었다. 이는 바이오필터 시스템이 악취 가스 감소에 유용할 뿐 아니라 병원성 미생물이 직접 환경으로 들어가지 못하도록 막는데도 유용하다는 것을 의미한다.
- 표 17은 배설물 대장 세균과 관련하여 전반적인 바이오필터의 성능을 매일 단위로 보여준다. 이런 결과는 시간이 증가하면 배양 가능한 총 배설물 대장 세균도 증가한다는 것을 나타낸다. 이는 미생물 활동이 이미 발생했으며 그 결과로 악취 화합물의 농도가 두 번째 필터 이후에 감소했다는 것(이전 섹션에서 언급됨)을 의미한다. 그러나 마지막 몇 주 동안의 결과는 배양 가능한 병원성 세균(배설물 대장균)의 경우에 어떤 불변성이 유지되었다는 것을 보여준다.

표 16. 포장재(섬유소 패드)에 부착된 배양 가능한 대장 세균 수(CFU/ml)에 대한 통계 분석

Fecal coliform (CFU/ml)	Day of sampling	Place	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min.	Max.	Range	Std. E
	0		Cellulose pad 1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cellulose pad 2			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1		Cellulose pad 1	3.45E+02	3.45E+02	4.50E+02	2.12E+01	3.30E+02	3.60E+02	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	3.75E+02	3.75E+02	5.00E+01	7.07E+00	3.70E+02	3.80E+02	1.00E+01	5.00E+00
7		Cellulose pad 1	5.55E+02	5.55E+02	4.50E+02	2.12E+01	5.40E+02	5.70E+02	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	5.50E+02	5.50E+02	3.20E+03	5.66E+01	5.10E+02	5.90E+02	8.00E+01	4.00E+01
14		Cellulose pad 1	7.50E+01	7.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	7.00E+01	8.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	5.50E+01	5.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	5.00E+01	6.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
21		Cellulose pad 1	2.40E+02	2.40E+02	1.80E+03	4.24E+01	2.10E+02	2.70E+02	6.00E+01	3.00E+01
		Cellulose pad 2	5.50E+01	5.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	5.00E+01	6.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
28		Cellulose pad 1	7.00E+01	7.00E+01	2.00E+02	1.41E+01	6.00E+01	8.00E+01	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	5.50E+01	5.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	5.00E+01	6.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
35		Cellulose pad 1	1.41E+03	1.41E+03	6.05E+03	7.78E+01	1.35E+03	1.46E+03	1.10E+02	5.50E+01
		Cellulose pad 2	3.35E+02	3.35E+02	1.25E+03	3.54E+01	3.10E+02	3.60E+02	5.00E+01	2.50E+01
42		Cellulose pad 1	5.50E+01	5.50E+01	4.50E+02	2.12E+01	4.00E+01	7.00E+01	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	4.15E+02	4.15E+02	5.00E+01	7.07E+00	4.10E+02	4.20E+02	1.00E+01	5.00E+00
49		Cellulose pad 1	5.50E+01	5.50E+01	4.50E+02	2.12E+01	4.00E+01	7.00E+01	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	4.15E+02	4.15E+02	5.00E+01	7.07E+00	4.10E+02	4.20E+02	1.00E+01	5.00E+00
56		Cellulose pad 1	1.50E+01	1.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	1.00E+01	2.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	1.05E+02	1.05E+02	1.45E+04	1.20E+02	2.00E+01	1.90E+02	1.70E+02	8.50E+01
63		Cellulose pad 1	1.50E+01	1.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	1.00E+01	2.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	1.05E+02	1.05E+02	1.45E+04	1.20E+02	2.00E+01	1.90E+02	1.70E+02	8.50E+01
70		Cellulose pad 1	5.00E+01	5.00E+01	2.00E+02	1.41E+01	4.00E+01	6.00E+01	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.05E+02	1.05E+02	1.45E+04	1.20E+02	2.00E+01	1.90E+02	1.70E+02	8.50E+01
77		Cellulose pad 1	5.00E+01	5.00E+01	2.00E+02	1.41E+01	4.00E+01	6.00E+01	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	5.50E+01	5.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	5.00E+01	6.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
84		Cellulose pad 1	5.00E+01	5.00E+01	2.00E+02	1.41E+01	4.00E+01	6.00E+01	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	5.50E+01	5.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	5.00E+01	6.00E+01	1.00E+01	5.00E+00
91		Cellulose pad 1	5.00E+01	5.00E+01	2.00E+02	1.41E+01	4.00E+01	6.00E+01	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	5.50E+01	5.50E+01	5.00E+01	7.07E+00	5.00E+01	6.00E+01	1.00E+01	5.00E+00

- 균류가 기본적인 유황을 산화시켜 티오황산염으로 만들 수 있다는 것이 이전부터 제시되어 왔다(Grayston 및 Wainwright; 1988). 그러나 이전의 어떤 연구도 H₂S을 대사시키는 균류에 대해 보고한 적이 없다. 균류는 이전부터 바이오필터에서 사용되어 왔는데(Kennes 및 Veiga 2004; Estevez 등 2005), 그것들은 인위 개변(人爲改變) 독소를 대사시키는 것으로 알려졌다. 균류는 다양한 대사 역량을 갖고 있으나 일반적으로 유기 영양 생물로 간주된다. 따라서 그것들은 H₂S만 먹고는 성장할 수 없는 것처럼 보인다. 또한 균류가 H₂S의 독성을 제거할 수 있는 것으로 사료된다. H₂S가 호흡기 사슬 중에서 시토크롬 c 산화효소를 저해하는 것으로 알려져 있기 때문이다(Cooper 및 Brown 2008).
- 결과(그림 47)는 실험 전체에 걸쳐서 균류의 총 수 (PFU/ml)가 섬유소 패드 2에서 섬유소 패드 1(표본추출 지점, 그림 7)에 비해 더 높았다는 것을 보여준다. 이것은 세균 성장이 섬유소 패드 2에서 발생했으며 더 높았다는 것과 그것들은 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 77일 후에도 섬유소 패드 모두에서 균류의 수는 불변이었다. 이것은 섬유소 패드들에서 균류 성장을 위한 식품이 쉽게 조달되었음을 의미한다. 77일 이후부터 균류 수는 거의 불변이었다. 이는 바이오필터 시스템이 악취 가스 감소 및 안정화에 유용하다는 것을 의미한다.

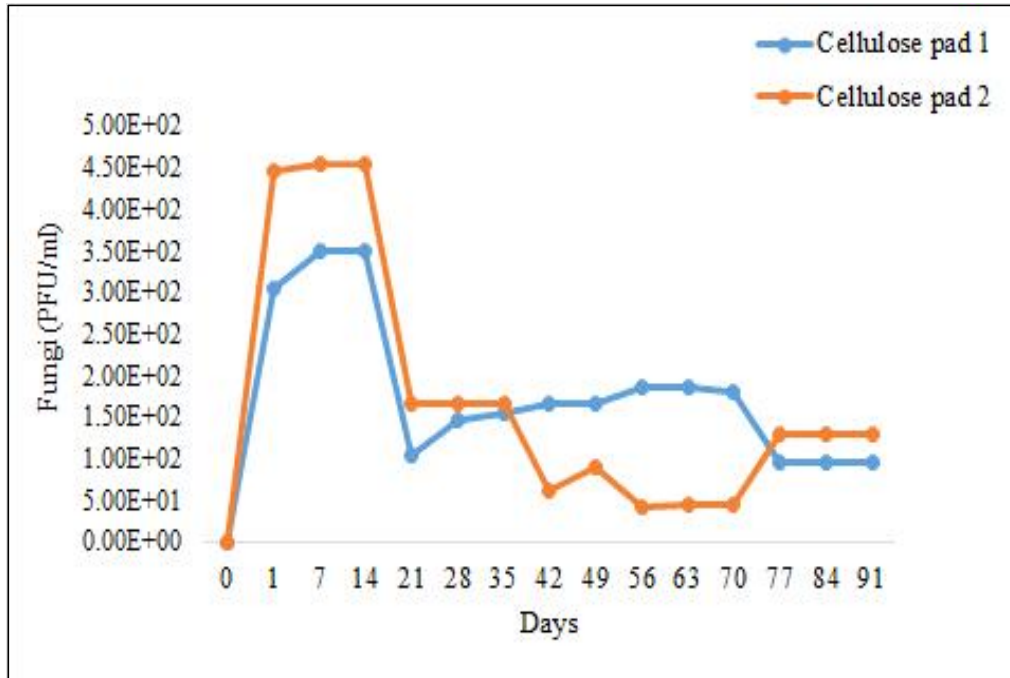


그림 196 상이한 시간 간격에 따른, 포장재(섬유소 패드)에 부착된 균류의
초 수(PFU/ml)

- 표 17은 균류 수와 관련하여 전반적인 바이오필터의 성능을 매일 단위로 보여준다. 이런 결과는 시간이 증가하면 배양 가능한 균류 수도 증가한다는 것을 나타낸다. 이는 미생물 활동이 이미 발생했으며 그 결과로 약취 화합물의 농도가 두 번째 필터 이후에 감소했다는 것(이전 섹션에서 언급됨)을 의미한다. 그러나 마지막 몇 주 동안의 결과는 배양 가능한 균류 수 (PFU/ml)의 경우에 어떤 불변성이 유지되었다는 것을 보여준다.
- 녹농균은 그람 음성인 호기성 감마 단백질 분해 세균 속에 속하며 (191개의 유효하게 기술된 종들이 포함된) Pseudomonadaceae 과에 속한다(Euzéby, J.P; 1997). 이 속에 속한 품종들은 아주 큰 대사 다양성을 보이며 따라서 아주 다양한 적소들을 입식(入植)시킬 수 있다(Madigan 등 2005). 그것들의 시험관 배양이 쉽고 이용 가능한 녹농균 품종 유전자 서열의 수가 증가하고 있으므로 그 속은 과학적 연구의 빼어난 주제가 되어 왔다. 가장 많이 연구 대상이 된 종에는 기회주의적 인체 병원균 역할을 하는 *P. aeruginosa*, 식물 병원균 *P. syringae*, 토양 세균 *P. putida* 및 식물 성장을 촉진시키는 *P. fluorescens* 등이 포함된다.
- 물 속 및 썩어있는 식물 같은 식물의 씨 속에서 널리 발생하기 때문에, 녹농균은 미생물학의 역사 초기부터 주목을 받았다. 그람 음성이며 막대 모양이며 극성 편모가 달린 세균(일부는 포자 형성 종이기도 함)의 속에 속한, 녹농균으로 통칭되는 이 미생물은 1894년 및 1900년에 Walter Migula가 다소 모호하게 정의할 때 사용한 용어였다(Migula, 등, 1894). 후자의 진술은 비축 물질이 갖고 있던 굴절성 과립 때문에 나중에 틀린 것으로 드러났다(Palleroni 등, 2010). 모호하게 기술되었음에도 불구하고, 녹농균 포카리아(basonym of *Pseudomonas aeruginosa*)라는 종 유형은 최상의 기술(記述)자로 판명되었다
- 바이오필터는 미생물들이 들러붙어 있는 유기 물질 용기로 구성되어 있는데, 오염된 공기는 보통 이 용기를 통해서 위로 올라간다. 오염된 공기 흐름은 액체상과 같은

방향이나 역방향으로 접하게 되는데, 이 액체상은 생물 막의 생존과 활동을 유지하는 영양소와 및 조건을 제공해 준다.

- 오염된 가스는 바이오필터 침상을 지나가며 오염물질은 생물 막 속으로 옮겨지는데 거기서 세균이 그것들을 탄소원이나 에너지원 또는 두 가지 다로 활용한다(Ortiz 등, 2003; Ma 등, 2006). 산화 반응을 통해 유기 오염원은 이산화탄소, 수증기, 유기 생물자원 같은 악취 없는 화합물로 전환된다.

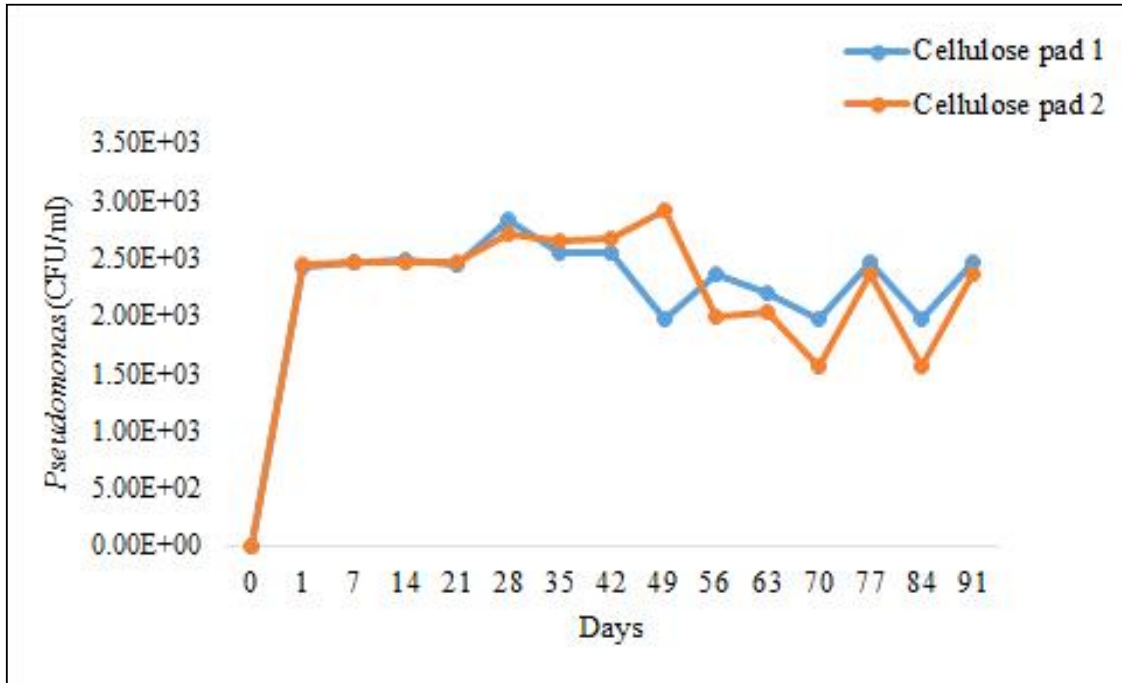


그림 197 상이한 시간 간격에 따른, 포장재(섬유소 패드)에 부착된 녹농균의 총 수(CFU/ml)

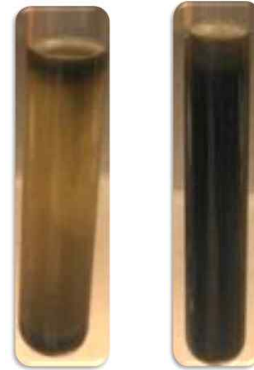
- 수소 황화물 같은 무기 화합물을 분해할 때, 자기 영양 세균은 이산화탄소를 탄소원으로 활용하여 결과적으로 새로운 생물자원과 황화물이나 유황 원소를 생산해 낸다(Barona 등, 2004; Andersson 및 Grennberg, 2001). 바이오필터 침상 내에서 가장 풍부한 미생물은 녹농균 세균 같은 유기영양 세균임이 밝혀졌다.
- 결과(그림 49)는 실험 전체에 걸쳐서 녹농균의 총 수가 섬유소 패드 2에서 섬유소 패드 1(표본추출 지점, 그림 7)에 비해 더 높았다는 것을 보여준다. 이것은 녹농균 성장이 두 필터 모두에서 발생했다는 것과 그것들은 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 56일 후에 섬유소 패드 2에서 녹농균의 수가 감소하였다. 이것은 섬유소 패드 1에서 녹농균 성장을 위한 식품이 쉽게 조달되었음을 의미한다. 56일 이후부터 녹농균 수가 증가하였는데, 이는 섬유소 패드 2에서 녹농균 수가 감소한 것에 대해 가능한 이유가 될 수 있을 것이다.
- 표 18은 녹농균 수와 관련하여 전반적인 바이오필터의 성능을 매일 단위로 보여준다. 이런 결과는 시간이 증가하면 배양 가능한 총 녹농균 수도 증가한다는 것을 나타낸다. 이는 미생물 활동이 이미 발생했으며 그 결과로 악취 화합물의 농도가 두 번째 필터 이후에 감소했다는 것(이전 섹션에서 언급됨)을 의미한다.

표 18. 포장재(섬유소 패드)에 부착된 녹농균 수(CFU/ml)에 대한 통계 분석

	Day of sampling	Place	Mean	Median	Variance	Std. Dev	Min.	Max.	Range	Std. E
Pseudomonas bacterial count (CFU/ml)	0	Cellulose pad 1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		Cellulose pad 2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	1	Cellulose pad 1	2.44E+03	2.44E+03	1.25E+03	3.54E+01	2.41E+03	2.46E+03	5.00E+01	2.50E+01
		Cellulose pad 2	2.46E+03	2.46E+03	1.25E+03	3.54E+01	2.43E+03	2.48E+03	5.00E+01	2.50E+01
	7	Cellulose pad 1	2.47E+03	2.47E+03	8.00E+02	2.83E+01	2.45E+03	2.49E+03	4.00E+01	2.00E+01
		Cellulose pad 2	2.46E+03	2.46E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.41E+03	2.51E+03	1.00E+02	5.00E+01
	14	Cellulose pad 1	2.49E+03	2.49E+03	5.00E+01	7.07E+00	2.48E+03	2.49E+03	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	2.47E+03	2.47E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.42E+03	2.52E+03	1.00E+02	5.00E+01
	21	Cellulose pad 1	2.46E+03	2.46E+03	5.00E+01	7.07E+00	2.45E+03	2.46E+03	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	2.48E+03	2.48E+03	4.05E+03	6.36E+01	2.43E+03	2.52E+03	9.00E+01	4.50E+01
	28	Cellulose pad 1	2.83E+03	2.83E+03	1.80E+03	4.24E+01	2.80E+03	2.86E+03	6.00E+01	3.00E+01
		Cellulose pad 2	2.71E+03	2.71E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.66E+03	2.76E+03	1.00E+02	5.00E+01
	35	Cellulose pad 1	2.55E+03	2.55E+03	4.50E+02	2.12E+01	2.53E+03	2.56E+03	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	2.66E+03	2.66E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.61E+03	2.71E+03	1.00E+02	5.00E+01
	42	Cellulose pad 1	2.55E+03	2.55E+03	4.50E+02	2.12E+01	2.53E+03	2.56E+03	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	2.67E+03	2.67E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.62E+03	2.72E+03	1.00E+02	5.00E+01
	49	Cellulose pad 1	1.97E+03	1.97E+03	2.00E+02	1.41E+01	1.96E+03	1.98E+03	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	2.91E+03	2.91E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.86E+03	2.96E+03	1.00E+02	5.00E+01
	56	Cellulose pad 1	2.37E+03	2.37E+03	5.00E+01	7.07E+00	2.36E+03	2.37E+03	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	2.00E+03	2.00E+03	2.45E+03	4.95E+01	1.96E+03	2.03E+03	7.00E+01	3.50E+01
	63	Cellulose pad 1	2.21E+03	2.21E+03	5.00E+01	7.07E+00	2.20E+03	2.21E+03	1.00E+01	5.00E+00
		Cellulose pad 2	2.04E+03	2.04E+03	1.25E+03	3.54E+01	2.01E+03	2.06E+03	5.00E+01	2.50E+01
	70	Cellulose pad 1	1.97E+03	1.97E+03	2.00E+02	1.41E+01	1.96E+03	1.98E+03	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.57E+03	1.57E+03	2.21E+04	1.48E+02	1.46E+03	1.67E+03	2.10E+02	1.05E+02
	77	Cellulose pad 1	2.48E+03	2.48E+03	4.50E+02	2.12E+01	2.46E+03	2.49E+03	3.00E+01	1.50E+01
		Cellulose pad 2	2.36E+03	2.36E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.31E+03	2.41E+03	1.00E+02	5.00E+01
	84	Cellulose pad 1	1.97E+03	1.97E+03	2.00E+02	1.41E+01	1.96E+03	1.98E+03	2.00E+01	1.00E+01
		Cellulose pad 2	1.57E+03	1.57E+03	2.21E+04	1.48E+02	1.46E+03	1.67E+03	2.10E+02	1.05E+02
91	Cellulose pad 1	2.48E+03	2.48E+03	4.50E+02	2.12E+01	2.46E+03	2.49E+03	3.00E+01	1.50E+01	
	Cellulose pad 2	2.36E+03	2.36E+03	5.00E+03	7.07E+01	2.31E+03	2.41E+03	1.00E+02	5.00E+01	

- 계획서 악취제거 시스템 제시를 위한 미생물은 본 연구실의 육성비육돈사에서 동정한 micro flora를 사용하였다. 따라서 돈사관리자가 적절한 바이오필터 환경 (내부온도, 유량, 습도, 순환수 pH)을 조성해 준다면 손쉽게 이러한 미생물 군단을 형성할 수 있으며 보다 심층적인 내용은 3차년도 연구결과와 함께 제시될 예정이다.
- SIM 배지에서는 질소, 탄소 및 아니노산 공급원이 카세인의 효소 요람 및 동물 조직의 효소 요람에 의해 제공된다. 철 구연산암모늄 및 티오황산나트륨을 사용해서 황화수소 생산을 탐지한다. H₂S 가스는 철 구연산암모늄과 반응하여 검은 침전물인 황화철을 산출한다. SIM 배지는 낮은 농도의 한천 때문에 반고형체이다.

Sulphur Reduction Test		
Days	ellulose pad	Cellulose pad 2
0	P	0
1	P	P
7	P	P
14	P	P
21	P	P
28	P	P
35	P	P
42	P	P
49	P	P
56	P	P
63	P	P
70	P	P
77	P	P
84	P	P
91	P	P



- 동물 밀도가 높은 유펜된 건물에서 실시하는 집약화된 양돈은 열악한 실내 공기 품질로 이어질 수 있다. 대변과 소변에 들어 있는 단백질분해효소 폐기 제품의 미생물 분해는 높은 농도의 휘발성 유기 화합물, 암모니아 (NH₃), 및 황화물을 초래하게 되지만(O'Neill 및 Phillips 1992) 사료 물질, 피부 부스러기, 깔개 물질, 및 건조한 거름은 공기 매개 미립자를 산출하게 되는데 이것들은 흡수된 미생물과 내-독소를 운반한다(Cambra-López, Aarnink 등 2010). 돼지 유펜 건물(SCBs) 속의 열악한 실내 공기 품질은 동물 및 인간 건강에게 영향을 미친다. 예를 들어, 공기 매개 미립자들이 콧구멍 및 호흡 기도에 쌓여서 폐 조직을 상하게 할 수 있다(Carpenter 1986). 더 나아가서, NH₃, 황화수소(H₂S)(거름에서 유래함), 이산화탄소(CO₂)(돼지 활동) 등 공기 매개 세균들과 가스들은 작업자 및 돼지에게 만성 호흡기염을 유발시킬 수 있다(Israel-Assayag 및 Cormier 2002; Dosman, Lawson 등 2004; Charavaryamath 및 Singh 2006).
- 돼지 축사에서 사용되는 항생제는 SCB 내에서 분산될 수 있는 미생물 속 항생제 저항력을 개발 및 증진시켜 왔다(Blake, Hillman 등 2003; Zhu, Johnson 등 2013). 항생제 저항력이 있는 유전자(ARG)는 수평적 유전자 이전에 의해 병원균으로 전이될 수 있으며 (Roberts 2005) 대중 건강에게 심각한 위협을 초래할 수 있다. 본 연구에서 테트라시클린을 선택한 것은 그것이 전 세계 축산에서 가장 널리 사용되고 있는 스펙트럼 항생제이며 특히 돼지 생산에서 널리 유포된 것이기 때문이다(Delsol, Anjum 등 2003). 테트라시클린에 대한 세균 저항력은 가장 일반적인 형태의 항생제 저항력이며, 토양과 물속 테트라시클린 저항력 유전자(TcR)에 대한 기존의 문헌과 비교할 때 SCB의 에어로졸 속 TcR 유전자에 대해서는 비교적 잘 알려져 있지 않다(Hong, Li 등 2012; Ling, Pace 등 2013).
- 세 개의 TcR 유전자 (tetB, tetH, tetZ) 부호화 리보솜 보호 단백질 (RPP) 및 세 개의 다른 (tetO, tetQ, tetW) 부호화 유출 단백질(EFP)을 본 연구를 위해 선택한 것은 이 유전자들이 SCB의 에어로졸 속에서 탐지되었으며 (Hong, Li 등 2012) TcR 유전자들이 테트라시클린에 대한 두 개의 주요한 세균 저항력 기체들(대중 건강에 관련된 세균과 연관된 것으로 판명됨)을 부호화하기 때문이다(Chopra 및 Roberts 2001; Santamaría,

López 등 2011; Roberts, Schwarz 등 2012).

- 바이오필터는 돈사로부터 배출되는 공기, 공기 매개 입자, 악취 및 가스로부터 나오는 공기에 대해 기계적 장애물로 이용된다(Martens, Martinec 등 2001; Chen, Hoff 등 2009; Sun, Guo 등 2010). 두 요인이 바이오필터를 통해 나오는 악취의 감소를 돕는다. 1) 배지는 배출을 줄이는 기계적 장애물을 제공한다. 2) 배지에는 미생물이 담겨 있어서, 바이오필터로 들어오는 gas와 증기를 분해할 수 있다. 악취, 암모니아, 황화수소 및 휘발성 유기/무기 화합물의 배출을 줄이기 위해 바이오필터를 사용하는 방법을 평가해 보았다.
- 오늘까지 돼지 유폐 시설에서 나오는 공기 매개 세균의 배출을 줄이기 위해 바이오필터의 효율을 평가하고자 기획된 연구의 수는 희소하다. SCB의 환기 시스템에서 배출되는 항생제 저항력이 있는 세균의 잠재력이 있기 때문에, SCB 가까이 있는 거주지로 이전되는 공기 매개 오염물질을 감소시키는 바이오필터의 효과가 평가를 보증한다. 바이오필터를 사용해서 SCB에서 나오는 공기 매개 오염물질을 줄인다면 생산자가 농장에서, 농장 간에, 및 환경으로 또는 SCB를 둘러싼 거주지로 퍼지는 생물 오염물질을 줄이는 데 크게 도움이 될 것이다. 돈사 안팎의 공기 매개 오염물질에 대한 정보와 돈사 및 돈사 옆 거주지에서 일하는 사람들에 대한 잠재적 효과에 대한 정보가 거의 또는 전혀 없는 상황에서, 16S rRNA와 TcR유전자들의 16S rRNA 유전자와 qPCR의 V3 부위에 대한 일루미나 HiSeq 서열화를 이용해서 아래의 문제들을 다루기 위해 본 연구가 설계되었다.

(1) 바이오필터는 SCB 내의 세균 생물 에어로졸 군락 구성을 어떻게 변화시키는가?

(2) 16S rRNA와 TcR유전자의 풍성은 SCB 내의 바이오필터로 인해 변화되는가?

- 본 연구에서는, 일루미나 서열화를 사용해서 SCB 내 속 바이오필터 속의 세균 생물 에어로졸 군락 구성을 종합적으로 통찰하였다. 높은 처리량 분자 서열화 방법을 사용해서 이전에는 관찰하기가 어렵거나 불가능했던 미생물 생물다양성을 밝혀냈다(Sogin, Morrison 등 2006).
- 가장 풍성한 세균 종족은 Firmicutes이었는데, 이것은 모든 서열들의 45.1%를 차지했으며 그 뒤를 Bacteroidetes(23.6%), Proteobacteria(22.2%), 및 Actinobacteria(2.4%)가 쫓았다. 모든 서열의 4.0%는 분류되지 못했다. Firmicutes를 위한 바이오필터의 제1 및 제2 필터 사이에서 비교 수량에 커다란 차이가 있음을 발견했다(t-검정, P = 0.04) (그림 54).

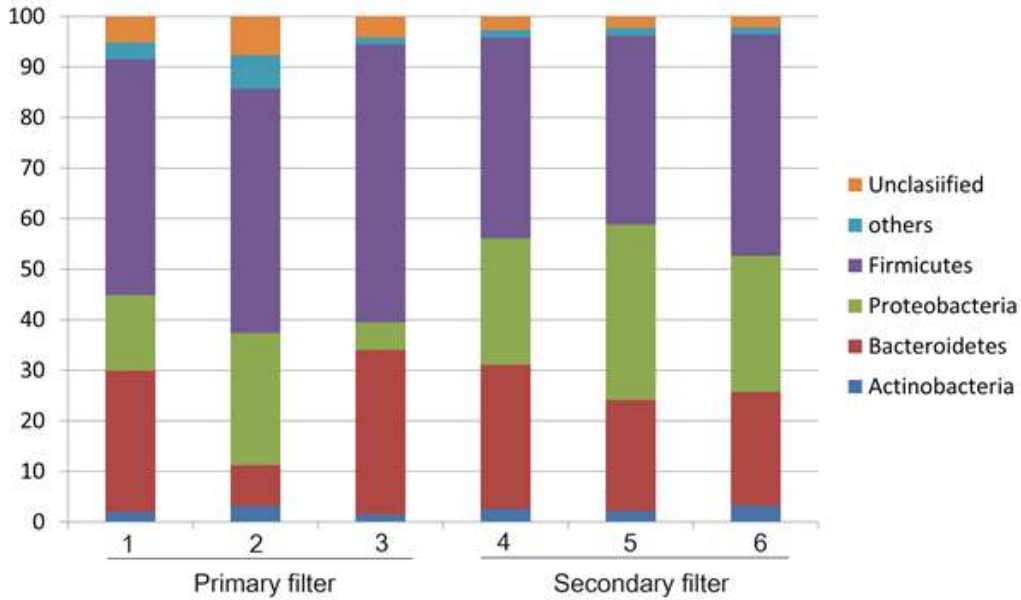


그림 202 바이오필터의 제1 및 제2 필터 안의 SCB 생물 에어로졸에서 탐지된 가장 풍부한 세균 문의 상대적 수량

3)

- 공기 매개 세균 군락의 조성은 바이오필터에 의해 크게 영향을 받았다(ANOSIM 통계 $R = 0.85$, $P < 0.01$; 그림 55). 제1 필터에서 수거된 표본에는 바이오필터의 제2 필터로부터 수거한 것과는 다른 세균 군락들이 들어 있었다.

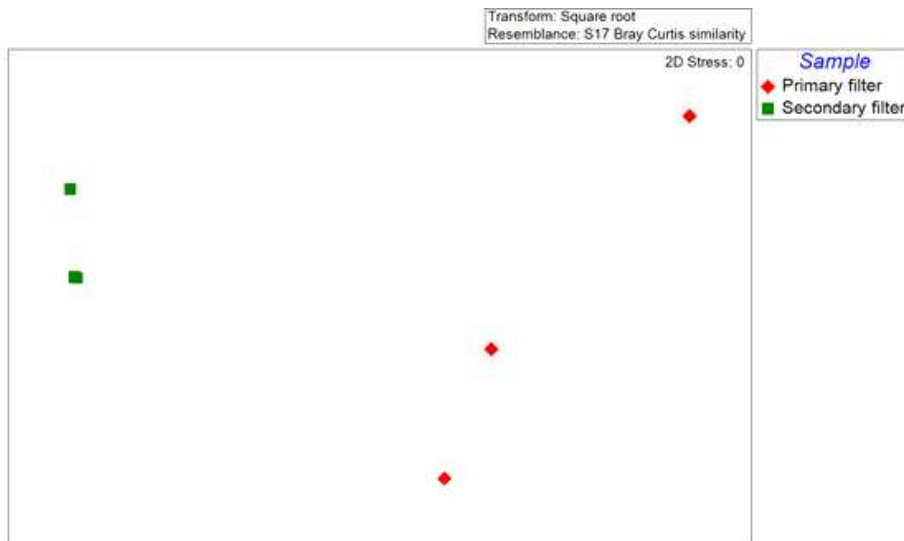


그림 203 바이오필터의 제1 및 제2 필터로부터 수거된 표본 속 SCB에 들어 있는 세균 생물 에어로졸 군락의 Bray-Curtis 짝 부동의 NMDS

- qPCR를 사용해서 6 부류의 TcR유전자들(*tetB*, *tetH*, *tetZ*, *tetO*, *tetQ*, 및 *tetW*)을 추가로 정량화하였다. 필터 표본 두 개에서 6 부류의 TcR유전자들은 모두 높은 수량으로 탐지되었다(그림 56). TcR유전자 부호화 RPP들(*tetO*, *tetQ* 및 *tetW*)은 TcR부호화 EFP(*tetB*, *tetH* 및 *tetZ*; t-검정, P -value = 0.04)보다 현저히 높은 복제 수가 존재했다. 4가지 TcR유전자 수량(*tetH*, *tetZ*, *tetO*, *tetQ*, 및 *tetW*)은 제1 및 제2 필터 표본 사이에서 크게 달랐으며, 그 수량은 바이오필터의 제1 필터에서 수거한

표본에서 최고였다(그림 57).

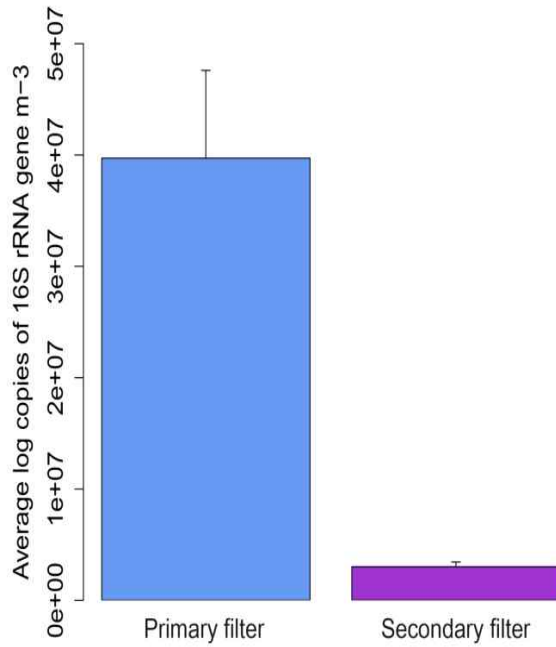


그림 204 SCB 속 바이오필터의 제1 및 제2 필터 내에서 16S rRNA 유전자들의 수량

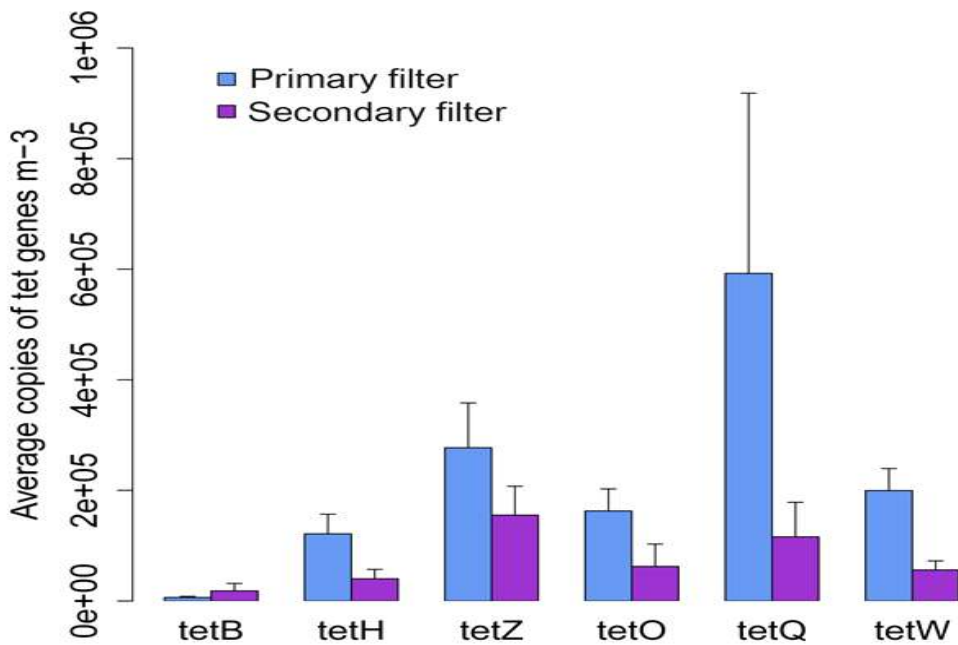


그림 205 SCB 속 바이오필터의 제1 및 제2 필터 내에서 테트라시클린 저항력 유전자들의 수량

- 연구 결과는 바이오필터가 효율적으로 작동하여 SCB에서 나오는 오염물질 배출을 막는다는 것을 보여주었다. 비록 이것이 분자적 방법을 사용하여 생물 오염물질 배출에 대한 바이오필터의 효과를 평가하기 위한 처음 연구였지만, 다른 연구들도 전통적 배양

의존 방법을 통해 다른 오염물질을 여과시키는 효과에 대해 보고한 바 있다. Tymczyna 등(2007)은 바이오필터 배지가 먼지, 그람 음성 세균 및 계사에서 나오는 내독소를 보관하는 데 효율적이라는 것을 발견하였다. Martens(2001)는 바이오필터가 돈사에서 나오는 생물 에어로졸을 줄이는 데 효율적이라는 것을 발견하였다. 우리의 연구 결과와 더불어 이전의 연구 결과(Martens, Martinec 등 2001; Barth, Talbott 등 2002)도 SCB의 환기 배출 시스템에서 나오는 공기 매개 생물 오염물질을 줄이는 데 효율적일 수 있음을 보여주었다.

- 본 연구에도 한계는 있었다. 본 연구는 단지 1개월에 걸친 연구 표본이므로, 우리는 나중 단계 표본을 위해 보다 더 많은 서열화 결과를 기다리고 있다. 그렇게 되면 생활 오염물질에 대한 바이오필터의 효과에 대해 보다 더 광범위한 견해를 제공해 줄 수 있을 것이다. 표본 수가 적었음에도 불구하고 이번 연구의 결과는 공동체 및 대중 건강과 관련하여 중요한 발견이었다.
- Green 등(2006)은 항생제 저항력이 있는 세균이 돈사로부터 150 미터 이내에 살고 있는 사람들에게 건강 문제를 초래할 수 있을 정도로 돈사의 환기 시스템으로부터 배출된다는 것을 발견하였다. Gibbs 등(2006)이 실시했던 연구에서 특별히 관심을 가졌던 것은, *Staphylococcus aureus*가 시험 대상 돈사에서 나온 것 중 가장 많이 탐지된 종이였다는 점이다. Gandara 등(2006)이 실시한 연구는 비록 그 출처는 알아내지 못했지만 항생제 저항력이 있는 *Staphylococcus aureus*도 주거 지역에서 탐지된다는 것을 발견하였다. 우리의 연구 결과는 바이오필터가 SCB에서 나오는 공기 매개 생물 오염물질을 줄이고 항생제 저항력이 있는 병원균 및 총 먼지 입자의 이동을 저지하는 데 효율적으로 사용될 수 있다는 것을 보여주었다.

2.1. 용존 산소 및 pH

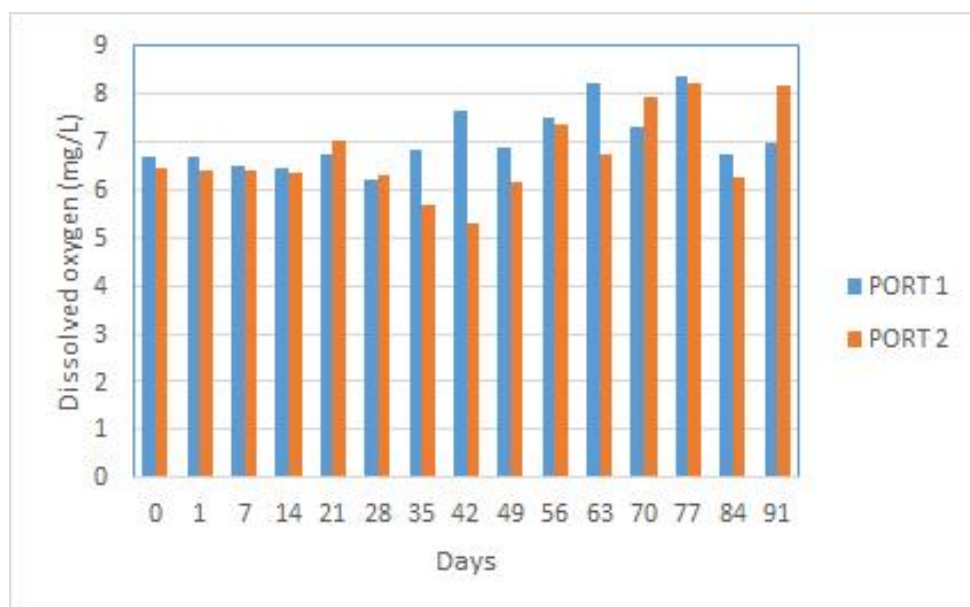


그림 206 실험 도중 두 개 표본추출 구에 대한 용존 산소 역학

- 용존 산소는 중요한 물 변수이다. 용존 산소 함량은 수질에 대한 정보를 제공해줄

것이다. 게다가, 용존 산소 함량의 변화는 종종 미생물학적 공정과 관련이 된다. 미생물 분해 공정은 바이오필터 시스템의 중요한 부분이다. 물에 갇힌 암모니아를 곧 미생물이 이용하여 그것을 질산염이나 아질산염 등 악취가 안 나는 화합물로 전환시키게 될 것이다.

- 그림 58에 의하면, 두 표본추출 구에서 나온 물의 용존 산소 함량은 크게 다르지 않다. 시간이 흐름에 따라 용존 산소 함량도 크게 변하지는 않을 것이다. 이것은 아마도 물은 순환 도중에 항상 움직이기 때문에 주변 환경으로부터 물속에 갇히게 된 산소는 용존 산소 함량을 유지하기 때문일 것이다. 다른 이유는 물속에서 미생물의 활동이 낮아서 산소 함량이 크게 변하지 않기 때문이다.
- 표본추출 구 2에서 제6주와 7주에 용존 산소 함량이 약간 감소했다. 용존 산소 함량은 6 미만이였다. 산소를 사용하는 미생물 분해 공정이 있을 경우에 용존 산소의 감소가 발생했을 것이다.
- 실험 도중에 물의 산도나 pH는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. pH는 산성인 표본추출 구 2에서 제11주나 13주를 제외하면 중성이나 알칼리성의 범위에 속했다. pH 값의 차이는 아마도 여과 시스템에 갇힌 유기 물질 분해의 상이한 활성 때문일 것이다. 유기 물질은 바이오필터기 시스템을 통과하여 물에 달라붙은 미립자 물질로부터 왔을 것이라고 가정된다.
- 하지만, 미생물에 의한 유기산의 생산도 pH 값의 차이를 가져오는 데 기여할 것이다. pH 값은 실제로 용액 속에 있는 화학물질의 종류를 나타낸다. 7 이하의 값은 유기산의 축적을 나타내며 7 이상의 값은 알칼리성 화합물의 축적을 나타낸다. 유기산은 성장 돈사로부터 나온 악취 화합물인 휘발성 지방산의 형태인 반면에 알칼리성 화합물은 암모니아이다. 이런 화합물들 사이의 균형은 결과적으로 중성 pH에 이르게 된다. 알칼리성 pH는 물속에서 증대되는 암모니아의 양과 관련될 것이다. 특히 실험 초기에 그럴 것이다. 실험 말기의 pH도 질산염 농도에 의해 영향을 받게 될 수가 있다.

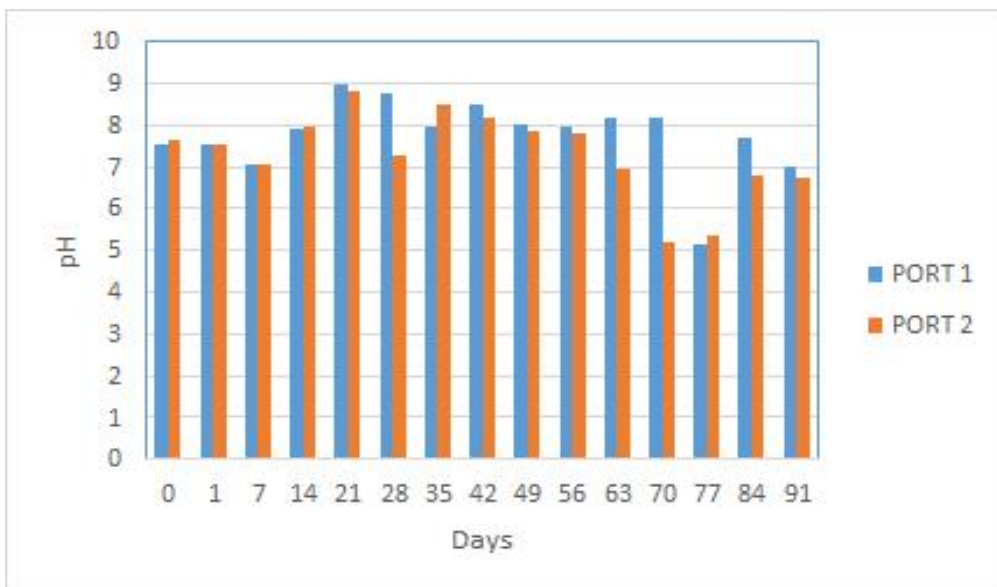


그림 207 실험 도중 두 개 표본추출 구에 대한 pH 역학

- 총 고형체는 정의된 온도에서 표본이 건조 및 증발된 후 남아 있는 물질이다. 휘발성

고형체는 550°C에서 연소된 후 타버린 폐기물 표본의 일부이다. 한편 고정된 고형체는 550°C에서 연소된 후 남는 잔류물이다(Tchobanoglous 등, 2004).

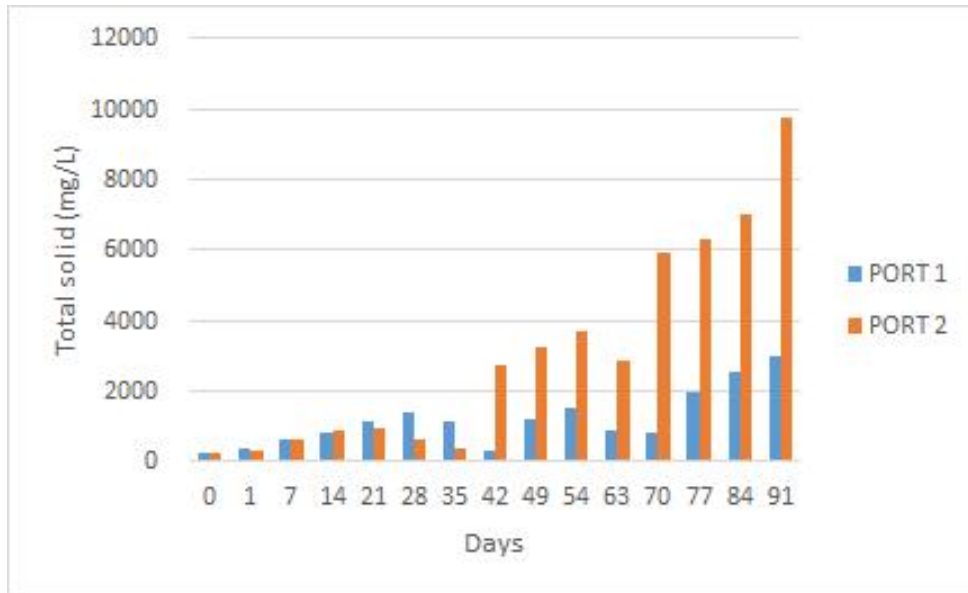


그림 208 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 총 고형체

- 그림 60은 바이오필터 시스템의 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 고형체를 보여준다. 총 고형체는 실험 도중에 증가했다. 물속 고형체 물질은 섬유소 패드 간헐다가 물로 씻긴 공기 속 미립자 물질로부터 나왔을 것이다. 게다가, 고형체 물질은 섬유소 패드에서 성장한 미생물 자원이나 물속에서 성장한 미생물로부터 나왔을 수도 있다. 고형체 물질은 실험 도중에 축적된다. 더욱이 물은 실험 도중에 결코 변하지 않는다. 따라서 총 고형체의 농도는 시간과 더불어 증가한다.

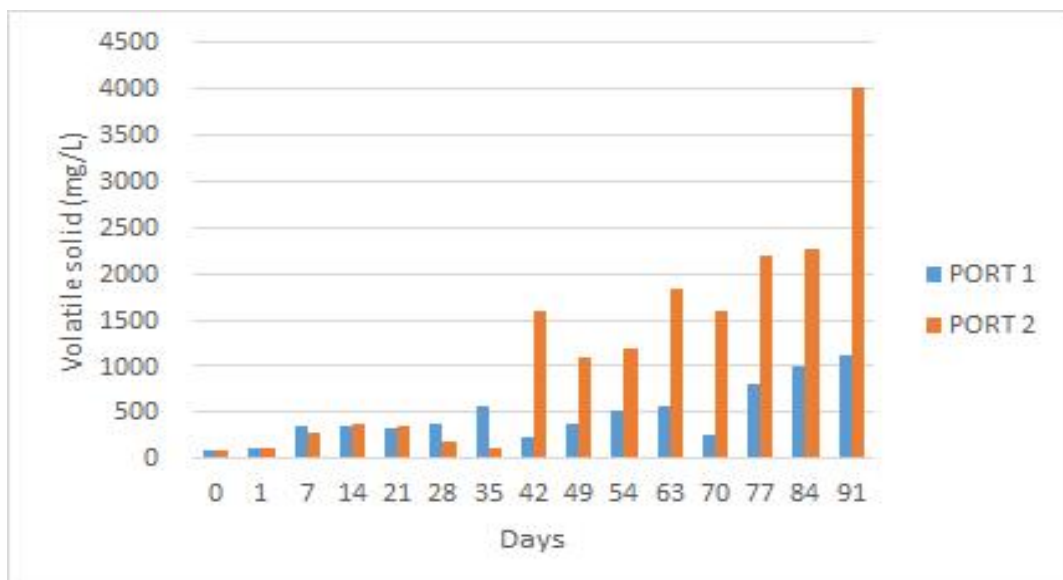


그림 209 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 휘발성 고형체

- 그림 61는 물 표본의 휘발성 고형체 함량을 보여준다. 총 고형체뿐 아니라 휘발성 고형체 농도도 증가한다. 어느 정도는 휘발성 고형체가 유기 물질이라고 가정된다. 하지만, 연소 후에 얻어진 휘발성 고형체 값이 총 유기 물질 함량을 나타내지는 않는다.

왜냐하면 몇몇 유기 물질은 타지 않을 것이며 무기 고형체 중 몇몇은 높은 온도에서 파괴될 수 있기 때문이다.

- 휘발성 고형체 측정은 중요하다 왜냐하면 휘발성 고형체는 쉽게 부식될 수 있으므로 더 많은 휘발성 고형체 함량은 폐기물의 강도를 나타내기 때문이다. 바이오필터 시스템에서 나온 물을 고려해 보아야 한다. 오염물질의 양이 허용 가능치를 상회할 경우 그것이 환경을 오염시킬 수 있기 때문이다. 물속에 너무 많은 휘발성 고형체가 들어 있을 경우에도 바이오필터 시스템의 성능이 방해받을 수 있기 때문이다.

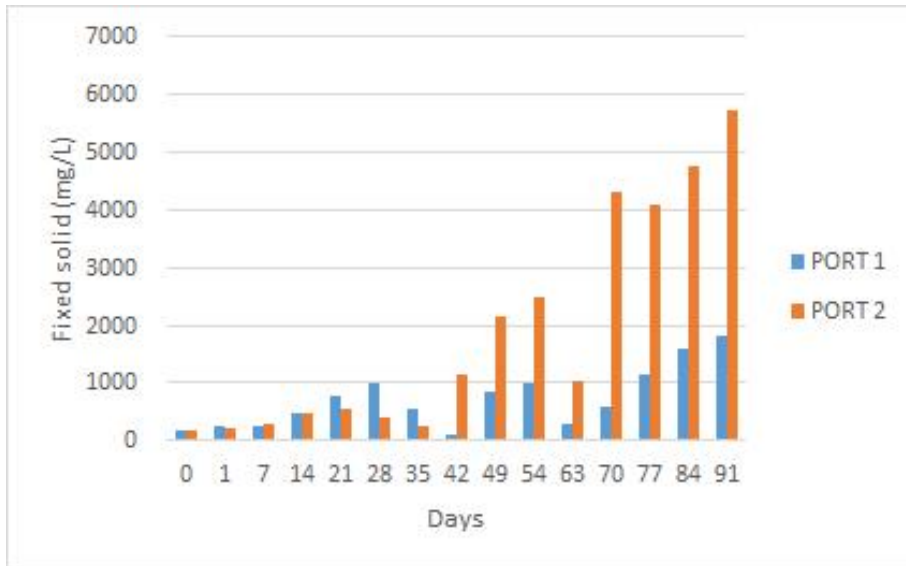


그림 210 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 고정된 고형체

- 고정된 고형체는 회분이라 불릴 수 있는 무기 화합물로 구성된다. 고정된 고형체 값은 표본 속 (이 경우, 물속) 무기 광물질 함량을 보여준다. 총 고형체 및 휘발성 고형체와 더불어, 고정된 고형체의 농도도 증가한다. 따라서 실험 기간 동안에 무기 화합물도 축적된다.
- 총 질소는 무기 및 유기 형태의 질소로 구성된다. 무기 형태의 질소는 암모니아/암모늄, 아질산염, 및 질산염인데 이런 것들도 본 실험에서 분석 대상이다.
- 그림 63은 바이오필터 시스템의 표본추출 구 2에서 나온 물속 총 질소농도를 나타낸다. 일반적으로, 총 질소 농도는 실험 초기에 천천히 증가한다. 84 - 91 일 이후로 총 질소 농도는 크게 증가한다. 실험 말미에 상당한 증가가 있게 되는 이유는 무기 질소 양의 증가 때문이다. 암모늄에 기초해서, 실험 말미에 아질산염 및 질산염 농도도 급진적으로 증가한다(그림 63-65).
- 미생물 활동에 대한 또 다른 가능한 이유는 물속에서 유기 물질의 분해 역시 증가하기 때문이다. 미생물 생물자원도 물속의 총 질소 농도에 기여하게 될 것이다. 하지만, 이런 가정은 물속 미생물 활동을 분석(본 실험에서는 실시하지 않음)함으로써 점검해 보아야 할 것이다.

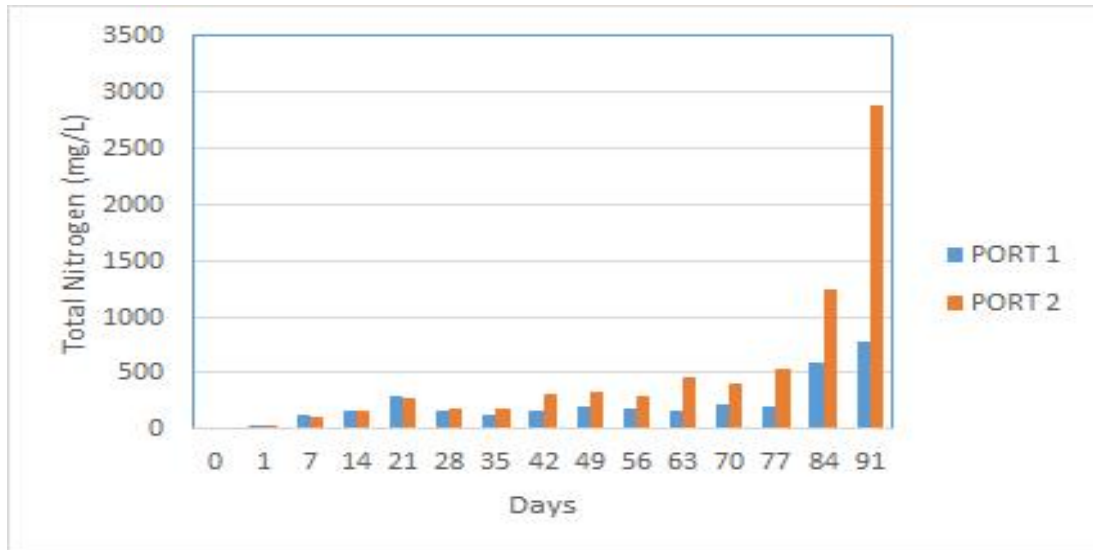


그림 211 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 총 질소

- 게다가, 총 휘발성 고형체 농도는 실험 말미에 증가하게 된다. 휘발성 고형체에는 질소 함유 화합물로 이뤄질 유기 물질이 함유된다. 따라서 총 휘발성 고형체의 증가 또한 총 질소 농도에 기여하게 될 것이다.

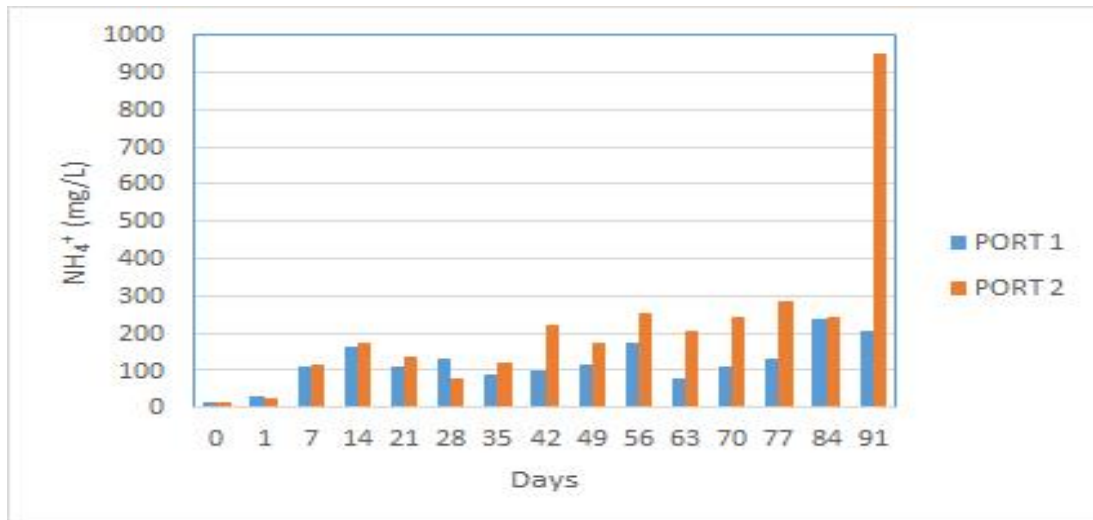


그림 212 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 총 암모니아 질소

- 암모니아 질소는 실험 전체를 통해서 증가했다. 그림 65에 따르면, 암모니아 질소가 실험 말미에 극적으로 증가했다. 이것은 바이오필터 시스템을 통과한 공기 속 암모니아 농도와 연관시켜야 하는데, 유기 물질이 분해될 때 암모니아도 방출된다. 실험 말미에, 유기 물질로 구성된 휘발성 고형체도 상당히 증가하게 된다. 이 유기물질이 미생물에 의해 분해될 가능성이 있는데, 미생물은 물로 방출될 암모니아를 산출한다. 두 번째 표본추출 구는 첫 번째 표본추출 구에 비해 암모니아-질소 농도가 더 높는데, 이것이 더 높은 휘발성 고형체 및 COD_{Cr} 농도와 연관이 있을 것이다

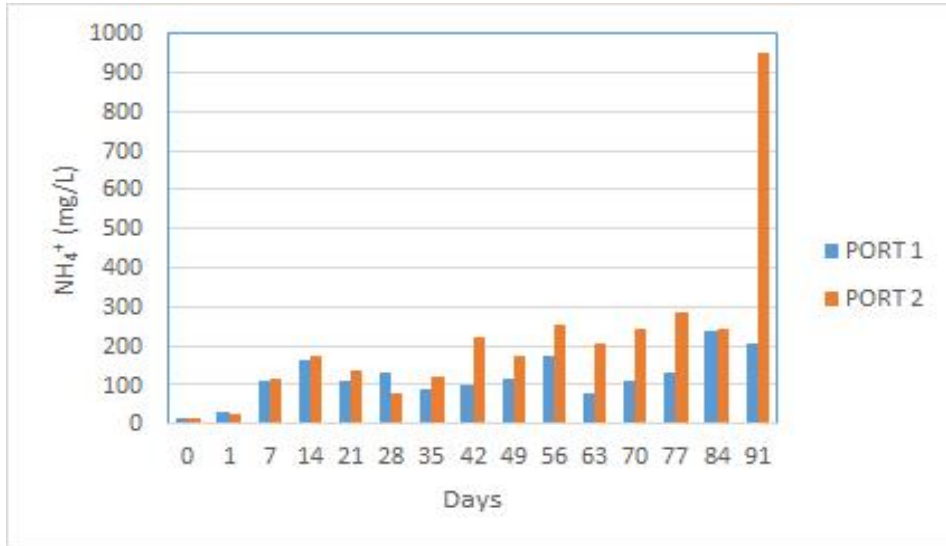


그림 213 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 아질산염 질소

- 온도, 수분 및 pH에 따라서, 대부분의 암모니아가 대기 속으로 휘발될 수 있다. 더 높은 pH는 결과적으로 비-이온화된 휘발성 형태의 암모니아 더 많이 전환되어 쉽게 대기로 방출된다(Conn 등, 2007). 물의 pH는 암모니아에게 영향을 미쳐 다시 한 번 물로부터 휘발될 수 있게 만들 것이다. 이 경우에, 수질을 감시하여 공기로부터 암모니아 제거가 최적이 되도록 하는 것이 중요하다. 너무 포화된 물은 공기로부터 암모니아를 흡수하는 물의 역량을 방해할 것이다.

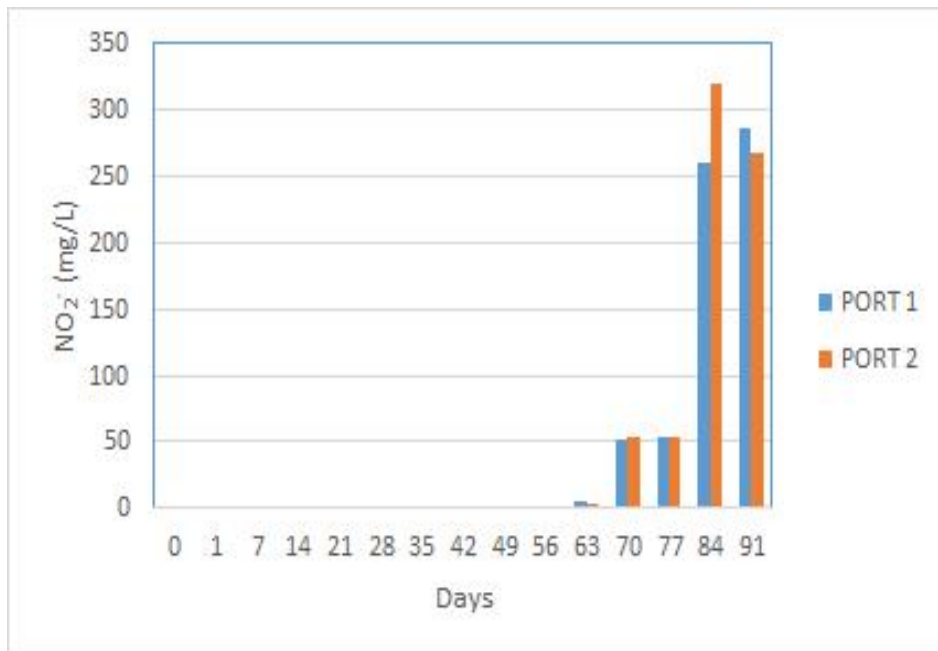


그림 214 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 질산염 질소

- NH₄⁺와 NO₃ 같은 몇몇 무기 질소들은 식물이 영양소로 이용할 수 있다. 바이오필터 시스템에서 나온 물은 직접 수원(水源)으로 방출하기보다는 비료로 활용한다. 그림 65과 66은 실험 도중의 아질산염 및 질산염 농도를 보여준다. 아질산염과 질산염은 질산화 공정에서 산출될 수 있을 것이다. 물에 흡수된 암모니아는 아질산염이라는 중간 형태를 거쳐서 질산염으로 전환될 것이다.

- 그림 67에서 볼 수 있는 것처럼, 물 표본의 총 인은 21일 이후에 증가하였으며 그 후에는 실험이 끝날 때까지 변동되었다. 물속 인의 가능한 출처는 성장 돈사 및 미생물 생물자원에서 나온 미립자 물질이다. 미생물이 인을 얼마간 사용하기 때문에 시간이 흐름에 따라 그 농도는 변하게 될 것이다. 물은 비료로 쓰일 수 있는 잠재력이 있다. 왜냐하면 물에는 인과 무기 질소가 함유되어 있기 때문이다. 인의 양이 증가하면 물속에 고정된 고형체 함량에게 기여할 수 있을 것이다. 인 농도의 거동을 추가적으로 관찰할 필요가 있다 화학적 산소 요구량 (COD_{cr})
- 화학적 산소 요구량은 유기 화학적 특성으로 간주된다. 화학적 산소 요구량은 통제된 조건 하에서 표본과 반응하는 특정 산화제의 양이다. 소비되는 산화제의 양은 그 산소 당량으로 표시된다(APHA, 2005). COD로는 오염물질의 양을 잴다. 더 높은 COD 농도는 더 많은 오염물질이 표본에 함유되어 있음을 의미한다.

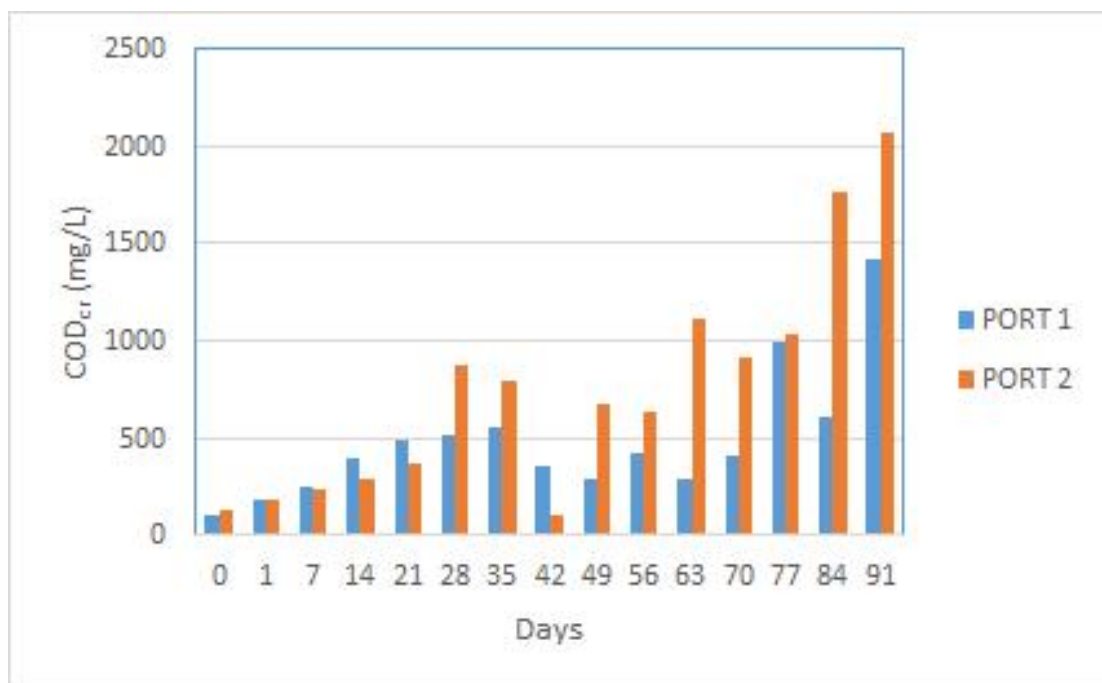


그림 215 실험 도중 두 개 표본추출 구에서 나온 물속 COD_{cr}

- 그림 67은 실험 도중 표본추출 구 1과 2 사이에서 COD_{cr} 농도의 역학을 보여준다. 일반적으로, COD_{cr}은 실험 기간 동안에 증가한다. 이런 결과는 물속에서 유기 화합물의 양이 증가한다는 것을 보여준다. 이것은 또한 고형체의 양이 휘발성 고형체의 형태로 증가하는 것과 연관이 있을 것이다. 미립자 물질이 첫 번째 실험일 이후로 축적된다는 것은 유기 물질이 더 많이 축적된다는 것을 의미한다.

3차년도 연구결과 요약

4) 1. 시계별 GHOG (온실 및 악취가스 : Greenhouse & Odorous Compound Gases) 저감 시스템 효율

- 돈체의 소화기관 (미생물 군집)은 먹이의 크기를 미소화(微小化)하는 발효기(醱酵器) 역할을 한다. 이 먹이의 노폐물인 유기성 돈슬러리가 발효할 때 악취가 발생한다. (Riis and Lyngbye 2005 & Le et al. 2007), 밀폐돈사 내에서 발생한 악취화합물은 환기시스템에 의하여 대기로 배출된다 (Markfoged et al. 2011). 여러 연구원들은 전술한 기작(機作)을 활용하여 밀폐돈사의 악취화합물은 저감시키고자 하였다. 돈사 배기(排氣)중 일정 수준의 악취농도를 유지하는 것은 쉬운 일이 아니다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 돈사의 배출공기를 정화하는 biofilter 시스템이 필요하다. 이 biofilter(이후 'BF'라 칭함)는 악취를 효율적으로 저감하는 데 매우 효율적인 시스템으로 알려져 있다.

- Biofilter는 주로 악취저감기술로서 soil beds, biofilter, bio scrubbers, bio trickling filters, engineered biofilter 등을 포함한다. BF는 기본적으로 패드(pad)에 서식하는 미생물이 악취화합물을 기체상의 화학물, carbon dioxide (CO₂), water (H₂O), 무기물 (inorganic salts) 등으로 변환시키는 기작, 즉, 흡착 (adsorption)과 생분해 (biodegradation) 공정을 말한다. 기본적으로 BF는 기체상의 악취화합물을 셀룰로오스 패드 통과시 매체(cellulosic pad)에 입자를 부착시켜 생분해한다. 이러한 부착 및 생분해는 biofilters가 오염물질을 제거하는 데 관여하는 기본 기작으로 알려져 있다. BF의 악취화합물의 저감의 기본 세 가지 기작은 다음과 같다.

① 악취기류 → 매체(cellulosic pad)에 부착 → 액상 탈착(脫着)/용해(溶解) → 생분해

② 악취기류 → 직접 흡착하여 생물막 형성 → 생분해

③ 악취기류 → 액상 용해 → 생분해

- Biofilter는 지역에 따라서 설계와 제어변수, 작동가변성 성적특성이 서로 다르다. 기본적으로 이들 변수들은 BF효율에 지대한 영향을 미치기 때문이다. 각 나라마다 사육시스템이 서로 다르기 때문에 이러한 요인은 고려해야 한다. 가끔 관행적 trickling filter도 biofilter와 같이 악취제거시스템으로 여겨지기는 하나 그것은 완전히 다른 기술이다. 일단 BF에서는 악취화합물이 생물막층에 흡착되거나 생물막주위의 수층(水層)에 용해되면, 이는 미생물의 생물학적 삶과 성장을 위한 먹이가 된다. 그러므로 BF를 거친 공기는 무취이거나 거의 악취가 없다.

- 그러므로 미생물은 BF에 가장 중요한 요인이다. 왜냐하면 미생물이 실제 오염물질을 변환시키거나 파괴시키는 주체이기 때문이다. 미생물은 대사(代謝)적 능력 및 선호에 대한 변위가 매우 크다. 자연발생적 미생물은 대부분의 기상(氣相) 오염물질 (예를 들면 악취 등)을 제거하는 데 적절하며 가장 바람직하다. 그러나 특이한 인위생성적 화학물을 제거하는 데는 특수한 미생물군집이 필요할 수도 있다. 때때로 이러한 특수 미생물을 단순히 하수슬러지에서 채취하여 존재하는 특수 오염물질에 순화시킨다; 이때 미생물을 순수배양하거나, 혼합배양하거나 또는 유전자조작한 미생물을 선호하기도 한다. 미생물 배양은 오염물질 분해를 위하여 최적 제어환경이 필요하다. 특히 악취화합물이 BF로 인입될 때는 환경요인 중 습도가 가장 중요하다.

- 본 연구는 1차 년도에는 전국 12개 양돈장을 대상으로 현장조사하여 기본적으로

개방돈사와 밀폐돈사의 악취발생실태를 조사하였으며, 이를 기초로 수원부속목장 비육돈사(12m x 20m)에 맞는 pilot BF를 설계하였다.

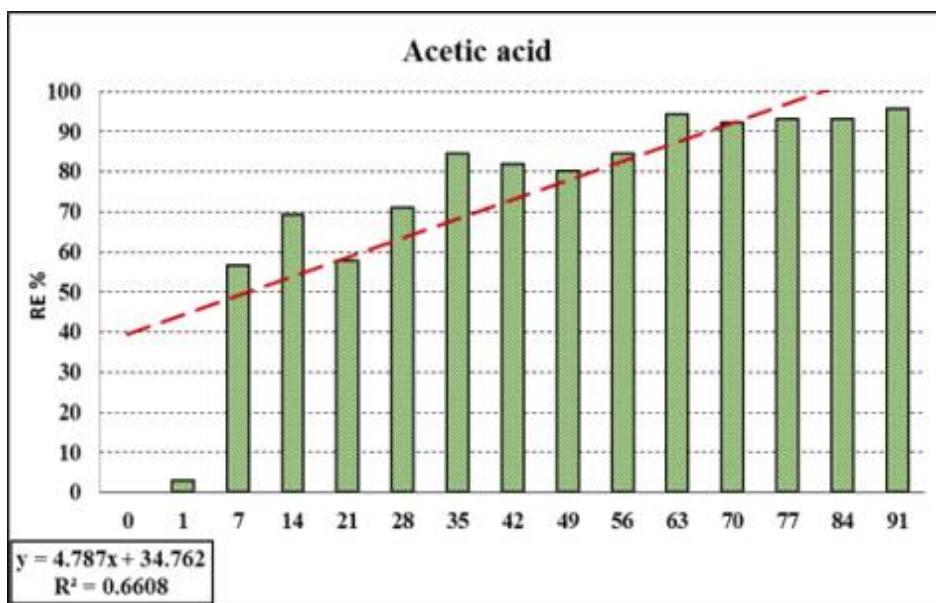
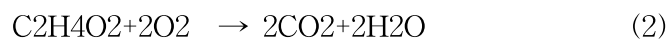
- 2차 년도는 pilot BF를 제작하였으며 이 pilot의 물리적 결함이 있는지를 확인하기 위하여 예비 현장실증실험을 수행하였다. 기본적으로 BF는 단순하며(simple), 생력적(compact)이며, 저비용(cost-effective)을 전제조건을 담은 실용적(practical)시스템을 제작하였다. 만약 실용적 BF가 효율적으로 악취를 저감한다면 이를 축산농가로 확산시킬 수 있다. 현재 악취로 인한 민원 때문에 축산이 매우 위축된 상황이므로 실용적 BF의 개발은 축산업의 획기적 전기를 마련할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3차년도 연구 목적은 자체 설계·제작하여 수원부속 목장에 설치한 BF를 대상으로 경시적(經時的) 개별 악취화합물 제거효율을 분석하는 데 있다.

가. 휘발성 유기화합물 제거효율 (Volatile organic compounds removal efficiency)

(1) 에세트산 (AA:Acetic Acid)

- 응급계획규제 (emergency planning regulations)에 의하면 AA는 유해물질로 (Rogers, 1994) 분류된다. 상위 20%에 속하는 고강도 AA는 온대지방이나 아열대지방에서 흔히 제조제로 널리 쓰인다.
- 여러 선행연구에 의하면 VFA (휘발성 지방산) 중 AA의 생분해율이 가장 높다고 보고되었다 (Smet, Lens et al. 1998, Ramirez-Saenz, Zarate-Segura et al. 2009). 본 연구에서도 선행연구와 마찬가지로 [그림 1]과 같이 AA가 다른 VFA 화합물보다 분해율이 훨씬 높게 나타났다.
- AA는 다음 이론적 화학량식 (2) 에 의하여 물과 이산화탄소로 전환할 수 있다.

Acetic acid:



[그림 1] 경시적 Acetic acid 제거효율

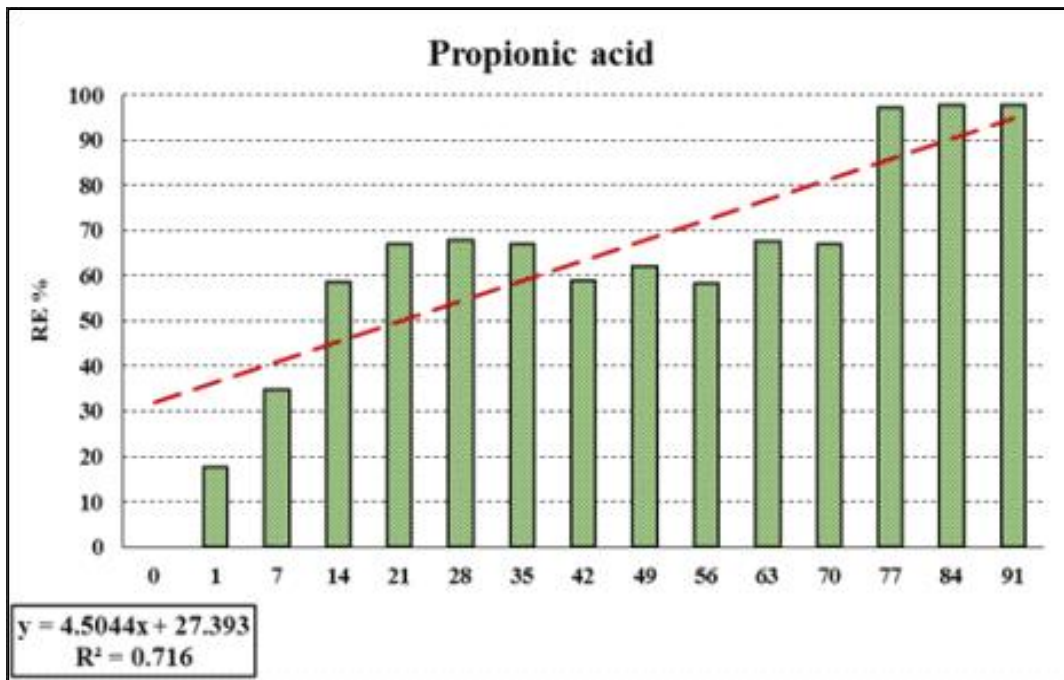
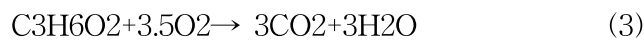
- 축사에서 발생하는 AA는 식(1)에서 보는 바와 같이 물과 이산화탄소로 생분해할 수 있다. 본 연구에서 실험기간 동안(91일) 셀루로즈패드 BF의 제거효율은 90-95%로

분석되었다. 본 연구의 실험을 수행하는 1년 동안 BF는 온도와 습도를 일정하게 유지한 채 거의 어떤 문제도 발생되지 않았다.

(2) 프로피온 산 (PA:Propionic Acid)

- 돈분뇨의 초기 분해과정에서 PA는 VFA중 두 번째로 많은 양을 발산한다. 본 연구의 BF로 유입되는 가스를 분석한 결과 상당 양의 PA 함유되어 있는 것으로 분석되었다. 2차년도 (year 2013-2014) 연구에서 BF에 유동율에 의한 입기(入氣)의 PA농도와 배기(排氣) PA농도를 측정하여 저장효율을 산정하였다.
- 셀룰로오스 패드 BF는 [그림-2]에서와 같이 PA는 실험기간 100일 내 거의 99%에 제거되었다. 높은 제거효율은 셀룰로오스 패드 표면에 서식하는 용복합 미생물군에 기인하는 것으로 추정된다.
- PA 분해는 이론적 화학량식에 의해 설정하면 다음 식(3)과 같으며, [그림 2]은 100여일 실험기간 중 경시적 PA분해율을 나타낸 것이다.

Propionic acid:

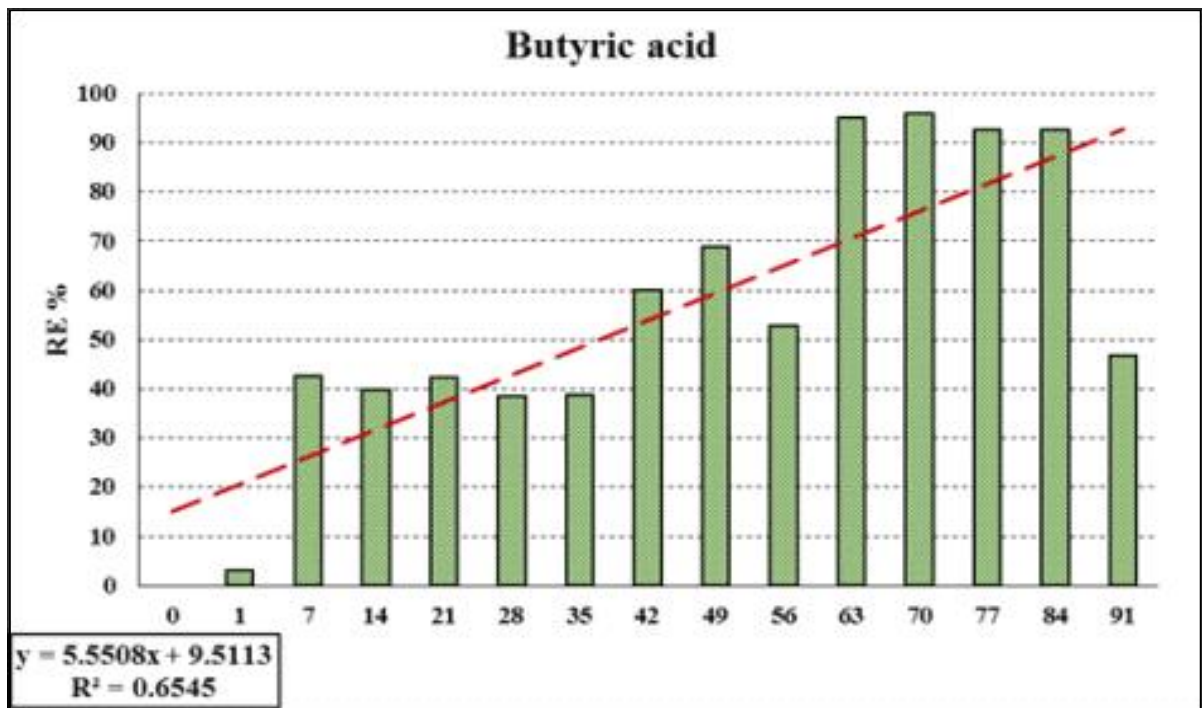


[그림 2] 경시적 PA 제거효율

(3) 부틸산 (BA:Butyric acid)

- VFA 중 세 번째 중요한 악취화합물은 BA로서 신내, 단내가 있는 복합적인 악취이다. BA는 밀폐돈사의 피트 등의 호기상태에서 유기물이 분해될 때 악취가 발산되거나, 피트의 분뇨가 교란될 때나 피트에서 혐기 pocket이 생길 경우 BA냄새가 난다. 그러므로, BF의 미생물 활성화는 시스템의 변화에도 매우 민감하다. 그러므로 BF의 고효율을 유지하려면 매우 정밀한 운영전략이 필요하다. 본 연구의 BF는 기본적으로 BA 화합물을 최대로 제거하기 위하여 중온(거의 30~37 °C) 유지하였다. (Dragt and van Ham 1992).
- 본 연구에서 BA의 실험기간 중 (100일) 제거효율은 95~99% ([그림 3])로 나타났다. 이는 선행연구 Otten, Afzal et al. (2004) 보고와 거의 같은 결과를 보였다. 그들은

실험실 규모의 여러 가지의 여재를 2000시간(약 83일) 실험기간 중 충전 실험장치를 대상으로 25~50 ppmv 농도의 BA를 관류(貫流)시킨 결과, 퇴비여재/퇴비+perlite 여재의 BA제거효율은 거의 100%에 가까웠다고 보고하였다.



[그림 3] 경시적 Butyric Acid 제거효율

식(4)는 BA의 이론적 화학적 반응식을 나타낸 식이다.

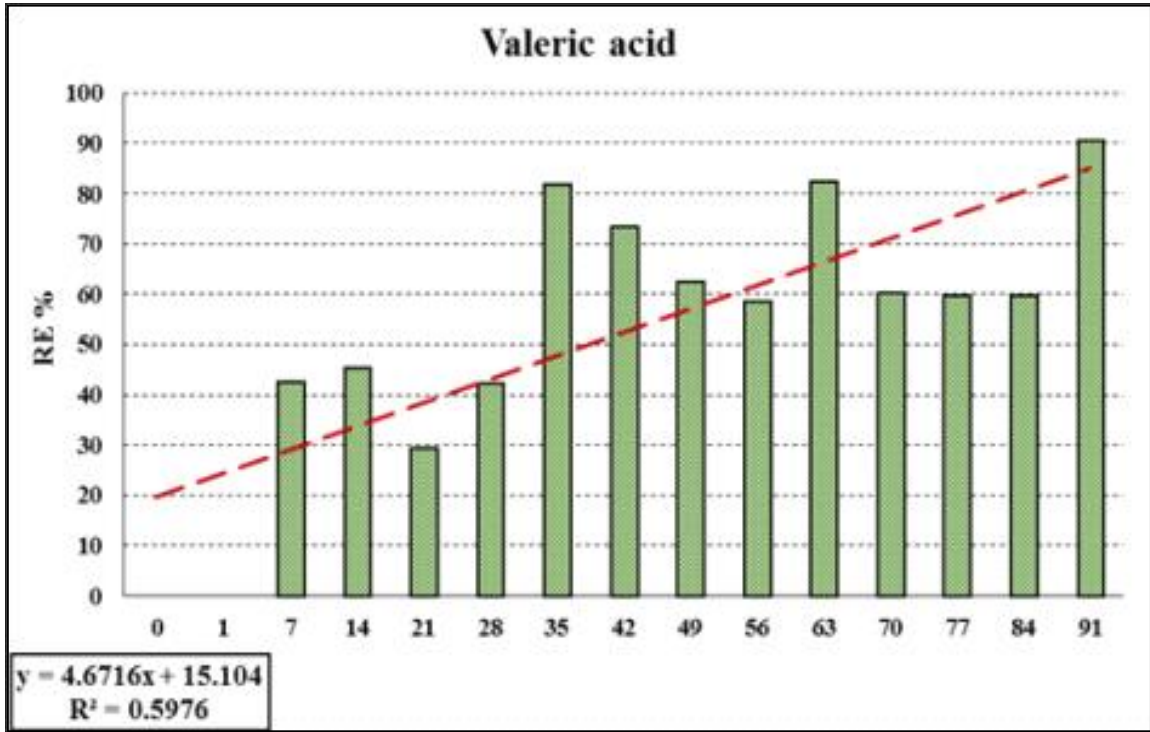
Butyric acid:



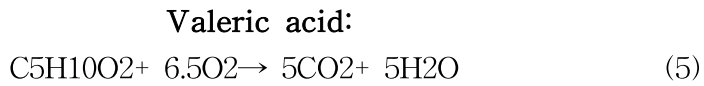
- 본 연구의 BA제거 효율실험을 수행하는 1년 동안 BF는 온도와 습도를 일정하게 유지한 채 거의 어떤 문제도 없었다. 그러나 셀룰로오즈 패드에 부착된 과도한 미생물 biomass를 제거하기 위하여 정기적인 세척이 필요하다 판단된다(세척주기는 공기유동율에 근거해야 한다).

(4) 발레르 산(VA:Valeric Acid)

- VA는 straight-chain alkyl carboxylic acid 으로 화학식은 C₅H₁₀O₂으로 표기한다. 다른 low-molecular-weight carboxylic acids와 마찬가지로 매우 불쾌취를 발산한다. VA에 노출되면 피부, 눈, 또는 점막을 자극시킬 수 있다.
- [그림 4]에서와 같이 본 연구의 실험기간 동안 (100일) VA 저감율은 80~90%에 이른다. Lennart et. al (1999)은 가축중, 축사형태, 축사설계 등이 다른 축사에서 VA농도를 실험하였으나 단열축사에서만 VA가 감응되었다.

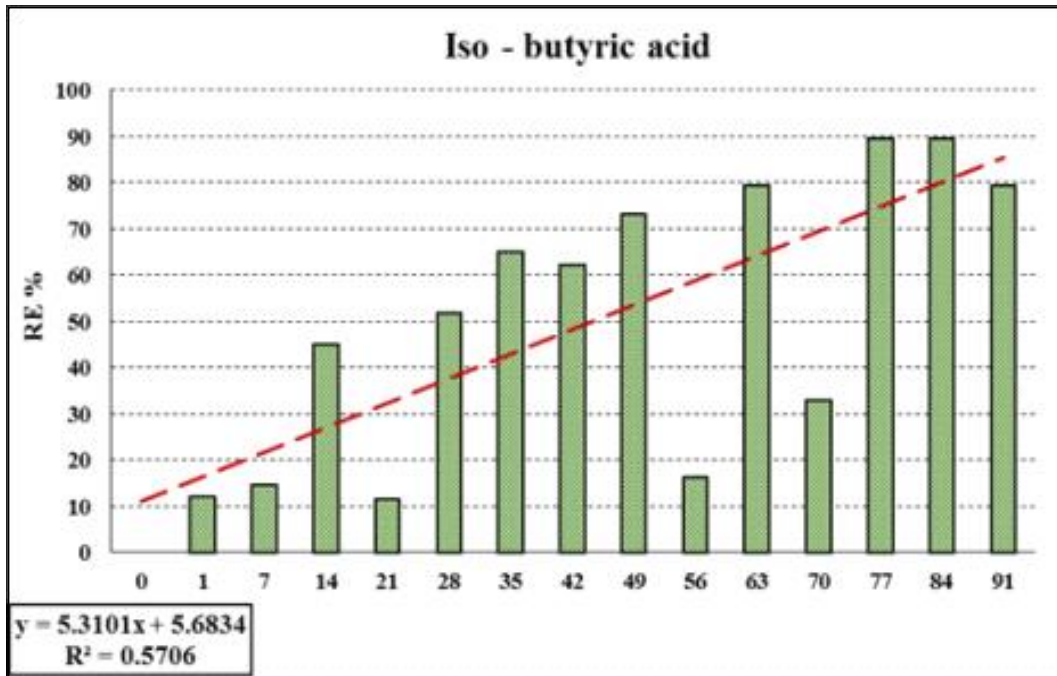


[그림 4] 경시적 VA 농도변화
BA의 분해는 이론식 화학량 반응식(5)와 같다.



(5) 이소부틸산 (iBA:iso-Butyric acid)

- iBA (iso-butyric acid)은 carboxylic acid으로 화학식은 $(CH_3)_2-CH-COOH$ 과 같다.

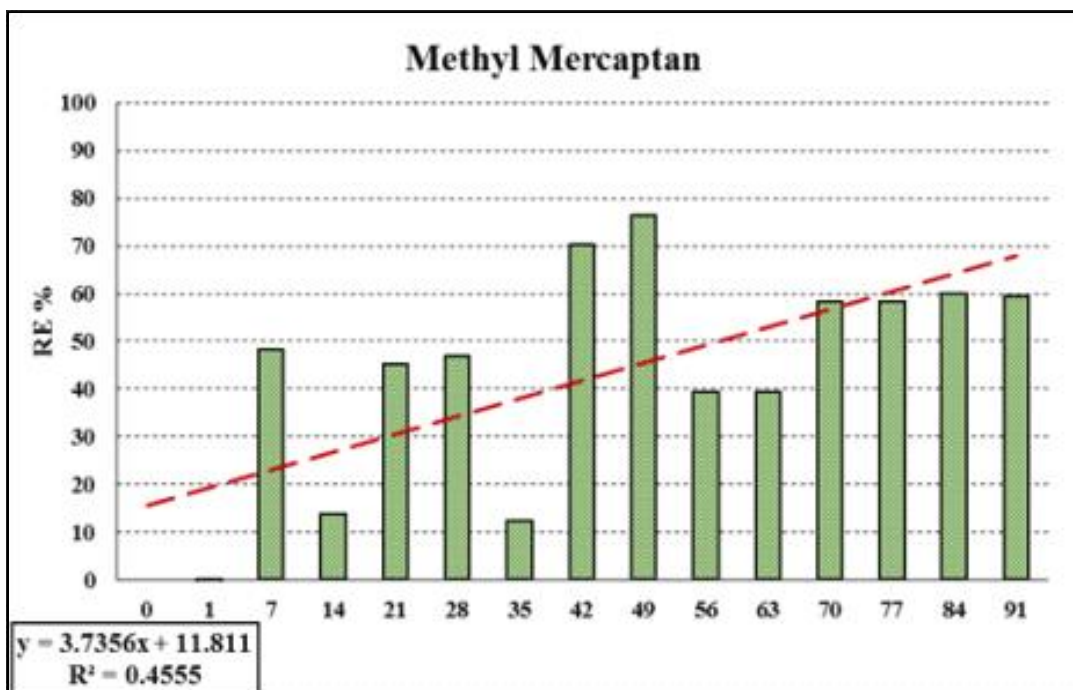


[그림 5] 경시적 iBA 제거효율

- iBA의 경우, [그림 5]와 같이 3rd wk, 8th wk, 10th wk에서의 iBA 제거효율이 10~40%로 나타났다. 이는 세포성장에 의한 균집적 때문으로 이해되나 정확한 근거를 위해서는 미생물 기능분석에 대한 후속연구가 필요하다. 그러나 11th wk 이후에는 제거효율이 80~90 %에 이른다.

(6) 메틸 머캡탄 (MM:Methyl Mercaptan)

- MM (CH₃ SH)은 메탄티올 (methanethiol)로도 불리고, 가끔 MeSH로도 표기된다. MM의 악취는 위해(危害)수준보다 훨씬 낮은 농도에서도 인지될 정도이다. 인간에게는 공기중 MM이 2ppb에서도 인지될 정도로 민감한 반면 실제 쥐는 100ppm 이상에 노출되어야 위해할 정도이다([EPA] 2008). 그러므로 사람들은 전혀 건강에 지장이 없는 MM에 대해서도 민감하게 반응한다. 그러나 상당 기간 노출되면 사람들은 민감도가 점차 저하된다 (Brenneman et. al, 2000). 그럴 경우, 후각이 피곤하여 둔해지면서, 사람들은 냄새에 대한 위해적 경고조차 잃게 되어 위험에 빠질 수도 있다.

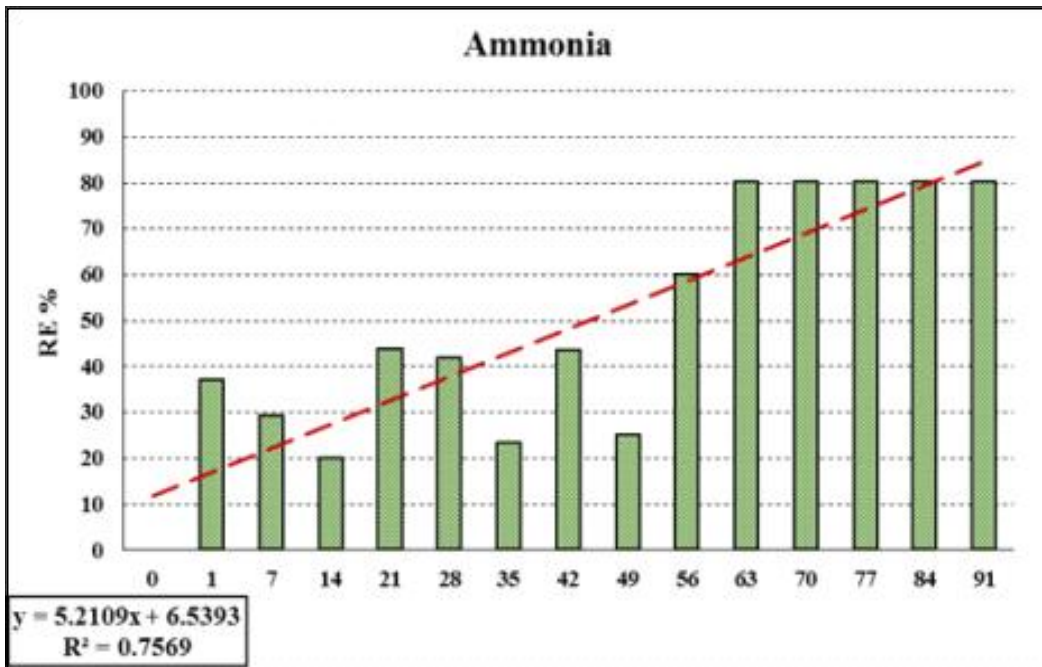


[그림 6] 경시적 MM 제거효율

- 전술한 바와 같이 MM은 sulfide과 methyl group-donating 화합물로 합성되어 있다. Demethoxylation of syringate (an intermediate microbial metabolite of lignin)은 MM의 주원(主源)이며, 주로 밀폐돈사 피트의 슬러리에서 발생된다. MM의 분해로 생성된 메탄은 혐기조건에서 계통발생적으로 M. hollandica 와 관련된 절대 methylotrophic methanogens에 의하여 조절된다 (Lomans et al. 2001b). [그림 6]에서와 같이 상대적으로 MM의 경시적 저감효율이 상대적으로 낮은 (≥ 60%) 것은 이러한 이유에 기인될 수 있다.

(7) 암모니아 (Ammonia)

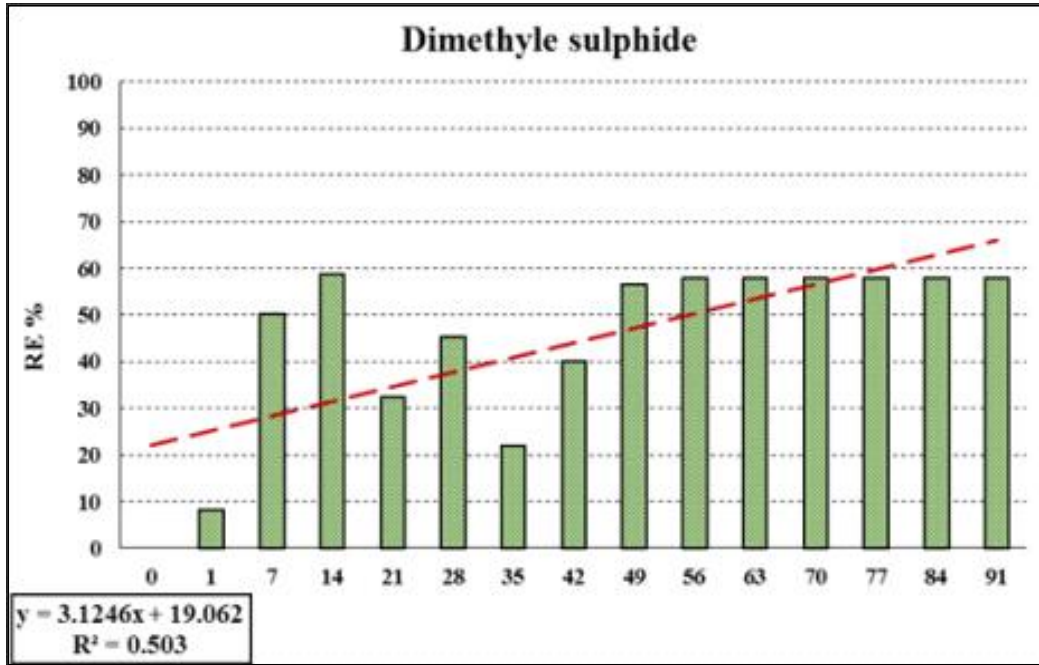
- 암모니아의 화학식은 NH_3 으로 무색이다. 암모니아 예리하고, 신경을 거스리며, 자극적인 냄새로 잠재적으로 위해(危害)에 노출됨을 경고하는 역할을 한다. 악취의 평균한계농도는 5 ppm로써, 이는 위험이나 손상을 일으키는 훨씬 적다. 고농도의 암모니아에 장기간 노출되면 호흡기 손상이나 죽음에 이를 수 있다.
- Sheridan et. al (2002)은 더블린대학 부속연구 비육돈사에서 BF를 이용하여 악취저감효율을 연구하였다. 실험결과, 악취와 암모니아 저감율은 77~95%에 이르며, BF 침출수 pH농도는 6~8가 적정하다고 보고하였다. 또한 그들은 여재패드의 함수율이 16% 감소하면 암모니아 제거효율은 7~23% 감소한다고 보고하였다. 그러므로 본 연구에서도 이 범위의 pH를 유지하였으며, 제거효율은 [그림 7]과 같이 약 80%를 유지하였다.



[그림 7] 경시적 암모니아 제거효율

(8) DMS (Dimethyl sulphide)

- Dimethyl sulfide (DMS) 또는 methylthiomethane으로 불리우며, 유기황(organosulfur)으로서 화학식은 $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ 과 같다. DMS은 불용성(不溶性)이며 37 °C (99 °F)에서도 끓는 가연성 액체로서 악취는 참을 수 없을 정도로 강하다. DMS는 호흡기관을 자극하며, 폐의 염증, 폐에 분비물 집적을 유발할 수도 있다.

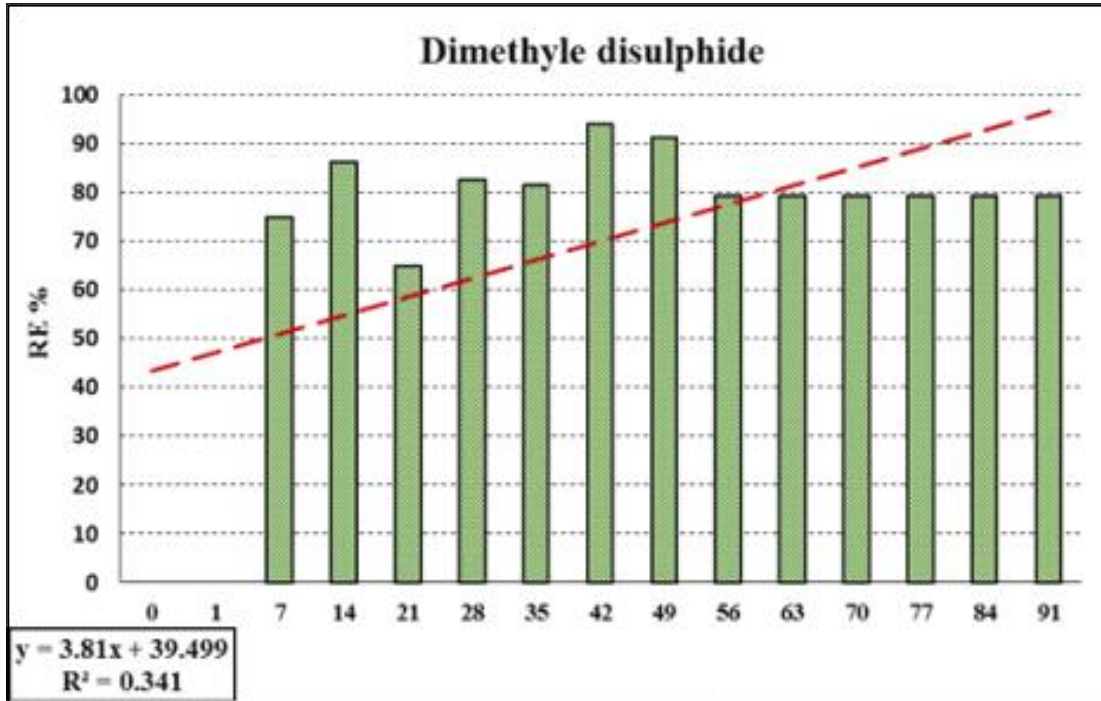


[그림 8] 경시적 DMS 제거 효율

- 선행연구에 의하면 인분처리공장에서 pilot peat여재 BF실험에서 호기성 세균인 Thiobacillus thioparus가 DMS를 산화시킨다고 보고하였다. 본 연구에서는 [그림 8]과 같이 BF는 DMS를 약 60% 감소하였다.

(9) DMDS (Dimethyl disulphide)

- Dimethyl disulfide (DMDS)은 유기화합물로서 (organic chemical compound) 화학식은 CH₃SSCH₃이며 가장 단순한 이황화물(disulfide)이다. 이 액체는 가연성으로 불쾌한 마늘냄새가 난다.
- DMDS는 호흡시 들어오거나 오염수 음용, DMDS의 피부접촉에 의하여 노출된다. DMDS 노출은 피부나 눈에 자극을 유발할 수도 있다. IARC (The International Agency for Research on Cancer)는 DMDS를 발암성 물질로 분류하였다. 그러나 보통 수준의 DMDS에 노출되는 것은 건강에 크게 위해되지 않는다.



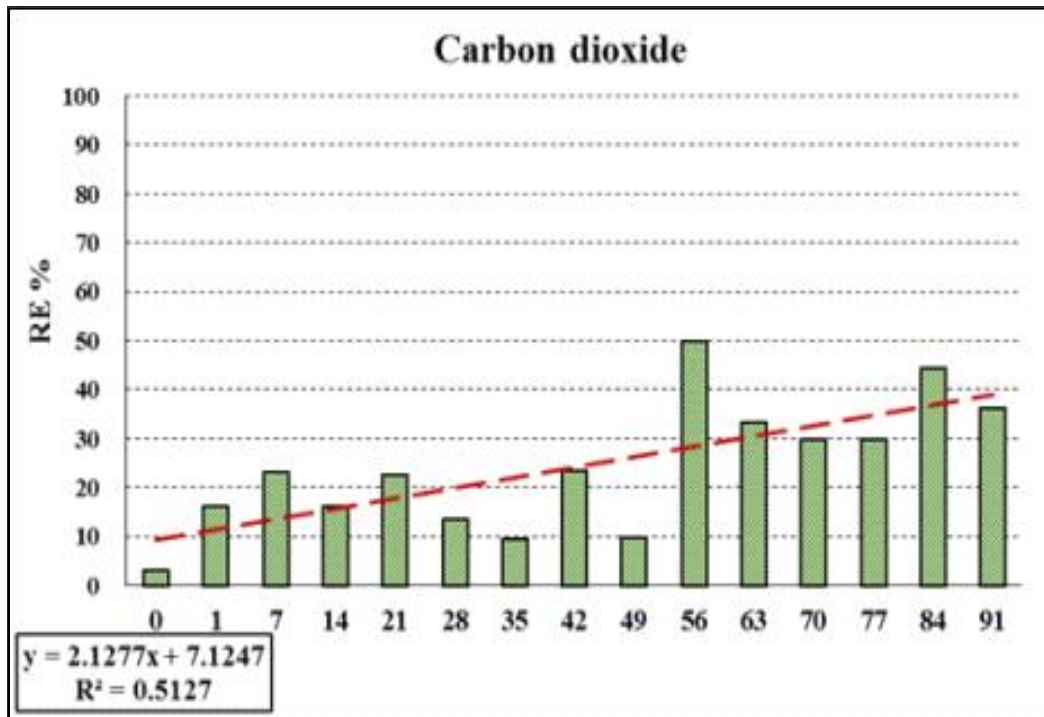
[그림 9] 경시적 DMDS 제거효율

- Dimethyl disulfide (DMDS)은 저농도 한계에도 악취를 발산하는 악취화합물로서 목재 펄프산업이나, 석유정제, 분뇨하수처리장에서 다량 발생하며 악취물로서 대기오염을 유발한다. DMDS를 희석시키는 여러 방법들이 사용되고 있다. 본 연구에서는 DMDS 제거율은 [그림 9]에서 보는 바와 같이 5주 연속 약 80%에 이른다. 이는 8th wk부터 호기성 미생물의 수가 BF pad에서 안정저공로 유지되었기 때문으로 판단된다.

나. 온실가스 제거효율 Greenhouse gas removal efficiency

(1) 이산화탄소 (Carbon dioxide, CO₂)

- 이산화탄소의 화학식은 CO₂로서 무색(無色), 무취(無臭)하며 지구에서 생명유지에는 필수적이다. 공기중 CO₂ 농도는 위치에 따라 0.036% (360 ppm) ~ 0.041% (410 ppm). 밀폐돈사내 CO₂는 기본적으로 돼지의 호흡과 분뇨의 생분해에서 유래된다.



[그림 10] 경시적 CO₂ 제거효율

- 본 연구의 BF에서 CO₂ 는 미생물의 활동에 의해 다른 유기물의 분해산물로서도 생성된다. 그러나 CO₂ 는 BF 셀룰로즈 패드 유하수에 의해 용해되어 CO₂ 의 제거효율이 [그림 10]과 같이 10~50%에 이른다. 또 다른 CO₂ 저장가능성은 질산화미생물이 무기물, CO₂ 를 에너지원으로 활용하기 때문으로 이해된다. 질산화과정중 알칼리도 손실을 보충하기 위하여 물에 흡수된다. CO₂ 의 완전한 제거를 위하여 CO₂ 를 작물온실로 유입시켜 광합성작용을 활성화시키는 것도 하나의 방법일 수 있다. 이준희 이준희 dlwnsgml

다. 결론

- 수원에 입지한 서울대 부속목장의 밀폐 비육돈사에 악취 및 온실가스 제거효율을 실험하기 위하여 BF를 설계·제작·설비하였다. pilot BF는 셀룰로오즈 패드와 물 재순환장치, 자료자동수집장치(data logger), 온도, 습도, 유속, 정압차 측정 감응기 등으로 구성되어 있다. 또한 BF시스템은 시스템 자동운행을 위하여 물살포장치, monitoring 장치도 포함한다.
- 100여일간의 BF 실험결과, AA (Acetic acid) 90~95 % (최종일 농도는 4.18 ppbv 로 분석되어 거의 무취상태임), BA (Butyric acid)는 95~99 % (최종일 농도는 7.83ppbv 로 분석되어 거의 무취상태임), PA (Propionic acid)는 99 % 이상 (최종일 농도는 0.96ppbv 로 분석되어 거의 무취상태임), VA (Valeric acid)는 80~90 % (최종일 농도는 1.03ppbv로 분석되어 거의 무취상태임), iBA(Iso-buteric acid) 80~90% (최종일 농도는 1.60 ppbv 로 분석되어 거의 무취상태임), 암모니아는 80 % 이상으로 (최종일 농도는 1.0ppm으로 분석되어 거의 악취를 인지할 수 없는 상태임), MM (Mercaptan methanol) 60 % 이상으로 (최종일 농도는 7.1ppbv 로 분석되어 거의 악취를 인지할 수 없는 상태임), DMS (Dimethyl sulphide)는 60% 이상으로 (최종일 농도는 1.2ppbv로

분석되어 거의 무취상태임), DMDS (Dimethyle disulphide)는 80 % 이상으로 최종일 농도는 0.1ppbv 로 거의 무취상태임. CO2 (Carbon dioxide)은 10~50%로 최종일 농도는 700ppm으로 분석되어 자체 개발한 BF의 악취 및 온실가스 저감효율은 대체로 양호하나 향후 효율을 개선하기 위한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

5) 2. 공기의 질, 생산성, 돼지 스트레스 간 상관관계 분석

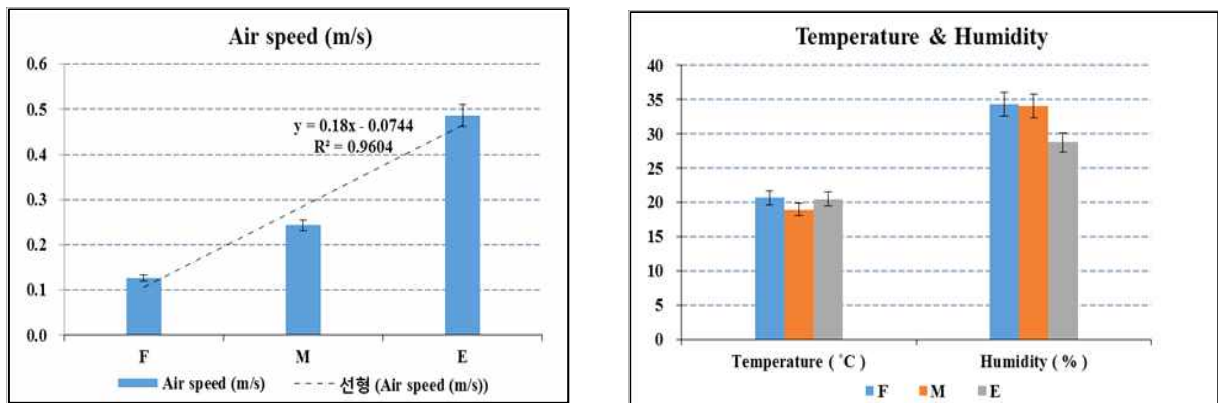
(1) 미기상변수 (Microclimate parameters)

- 실험 기간 중 대부분의 미기상 변수인, 평균 유속은 0.3m/s, 온도는 20°C, 상대습도는 32.4% 로서 상대적으로 건조하였다.

[표 2] 밀폐돈사의 미기상 및 복지에 관한 통계특성

Descriptive Statistics							
	Range Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean	Std. Error	Std. Deviation	Variance Statistic
Airspeed	0.4	0.1	0.5	0.3	0.1	0.2	0.0
Temperature	1.7	18.9	20.6	20.0	0.5	0.9	0.9
Humidity	5.6	28.7	34.3	32.3	1.8	3.1	9.9

- 밀폐돈사내 길이방향으로 전면(前面), 중간(中間)면, 후면(後面) 등 3지점, 높이방향으로 상(上), 중(中), 하(下) 등 3 지점 총 9지점에 대한 유속, 온도, 습도 등 미기상변수를 측정하였으며, 평균은 [그림 11]과 같다.



[그림 11] 지점별 유속, 온도, 습도

(F : Front of room, M : Middle of room, E : Rear of the room)

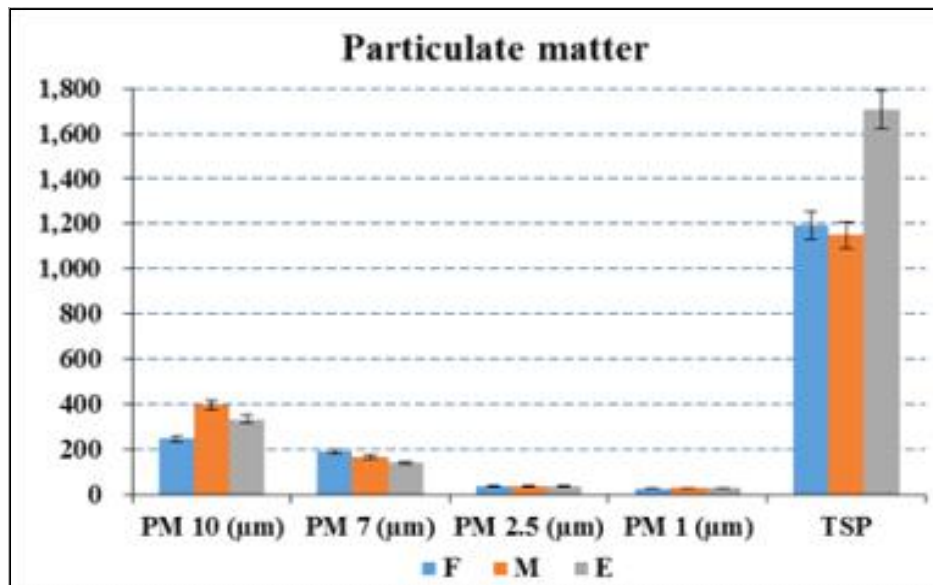
- 본 연구에서의 전면 유속은 중간면 및 후면보다 낮게 나타났으며, 온도 및 습도는 높게 관찰되었다. 이는 환기시스템의 배기 팬이 출구벽에 장착되어 공기흐름이 가속되지 않기 때문으로 이해된다.

(2) 입자상 물질 (Particulate matters)

- 밀폐 비육돈사의 입자상 물질(먼지)의 통계특성은 [표-3]과 같다. PM 10 (µm) 평균농도는 32.5 (µm), PM7.0 (µm)의 경우, 166.6 (µm) 으로 가장 높았다.

[표 3] 밀폐 비육돈사의 입자상 물질(먼지)의 통계특성 (µm)

Descriptive Statistics							
	Range Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean	Std. Error	Std. Deviation	Variance Statistic
PM ₁₀	151	246	397	325	44	76	5729
PM ₇	51.7	140.0	191.7	166.6	14.9	25.9	670
PM _{2.5}	2.3	34.7	37.0	36.1	0.7	1.2	1.5
PM ₁	2.2	25.9	28.1	27.2	0.7	1.1	1.3
TSP	557	1149	1707	1350	179	310	95921



[그림 12] 밀폐돈사의 입자크기별 지점별 입자상무릴의 분포

(F : Front of room, M : Middle of room, E: Rear of the room)

- 밀폐 비육돈사의 지점별 5종의 먼지농도의 지점별 분포는 [그림 13]과 같으며, 통계특성은 [표-3]에 나타나 있다. PM10의 경우, 중간면이 전면, 후면보다 높게 나타났다. 이는 중간면이 상대적으로 온도가 낮고, 유속은 높아 비육돈이 활동하기 적절한 환경이 주어져 활동량이 많아 먼지농도가 높아진 것으로 여겨진다. 입자의 크기가 상대적으로 작은 PM7.0, PM2.5, PM1.0 등은 쉽게 환기에 의하여 배출된다.

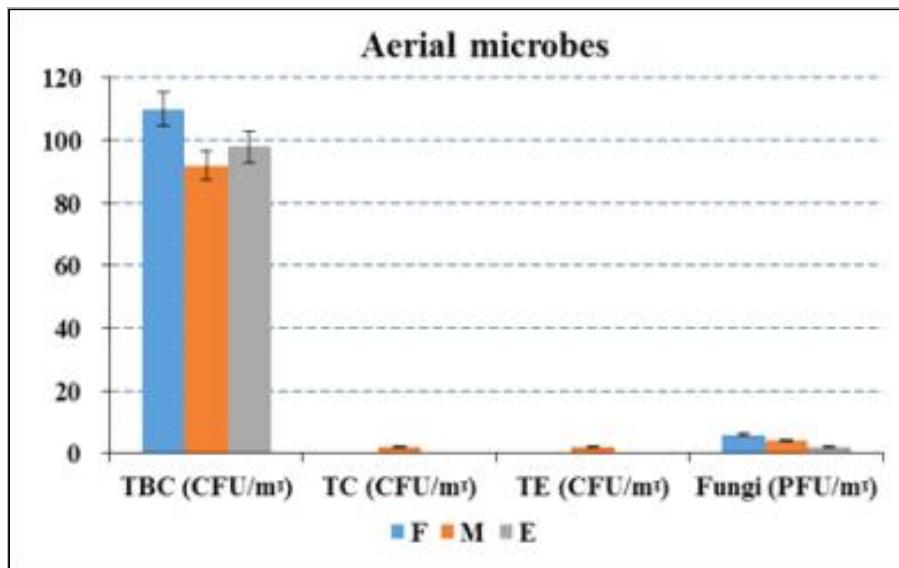
(3) 공기부유 미생물(Airborne microbes)

- [표 4]는 부유미생물 통계특성을 나타낸 것이며, TBC (total bacterial count)와 fungi 수는 각각 100.0 cfu/m³, 4.0 cfu/m³ (table 4)으로 분석되었다. 병원성 미생물군은 상대적으로 적어, 시료 채취시 Total Coliform(TC) and Total E.coli(TE)은 거의 전무(全無)하였다([표 4]). 이는 실내 작업자 및 돼지에게는 양호한 환경을 제공한 결과가 된다.

[표 4] 밀폐 비육돈사의 공기부유미생물 통계특성

Descriptive Statistics							
	Range Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean	Std. Error	Std. Deviation	Variance Statistic
TBC	18.0	92.0	110.0	100.0	5.3	9.2	84.0
TC	2.0	0.0	2.0	0.7	0.7	1.2	1.3
TE	2.0	0.0	2.0	0.7	0.7	1.2	1.3
Fungi	4.0	2.0	6.0	4.0	1.2	2.0	4.0

[그림 14]와 같이 TBC는 전면에서 가장 높게 나타났으며, 공기부유 곰팡이도 비슷한 유형을 보였다.



[그림 14] 실험중 밀폐돈사 지점별 공기부유 미생물분포

(F : Front of room, M : Middle of room, E : Rear of the room)

(4) 암모니아, 황화수소, 이산화탄소 (Ammonia, Hydrogen Sulphide and Carbon Dioxide)

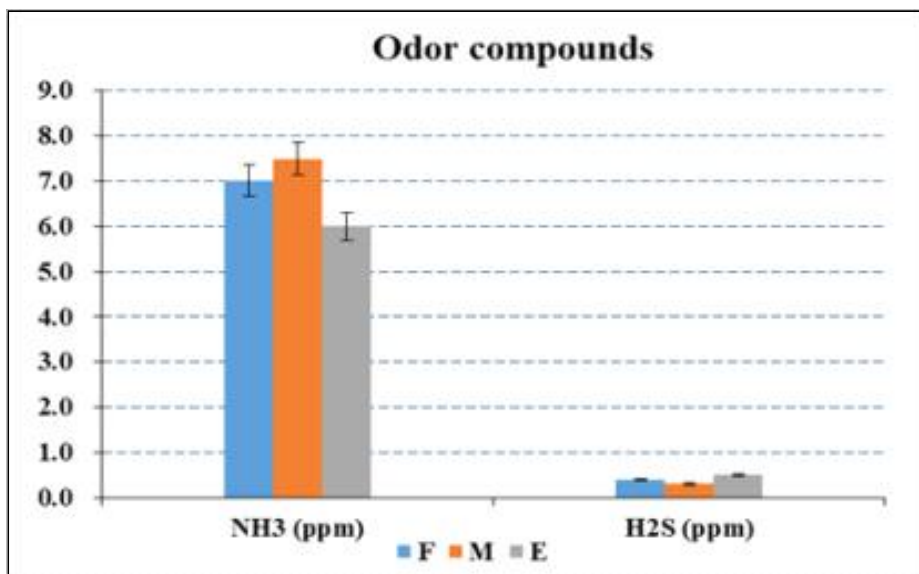
- 밀폐돈사의 NH₃, H₂S, CO₂ (Ammonia, hydrogen sulphide, carbon dioxide)의 통계특성은 [표-5]와 같다. 이들의 평균 악취농도는 각각 6.8ppm, 0.4ppm, 1,317ppm으로 나타났다.

[표 5] 밀폐돈사의 Ammonia, hydrogen sulphide, carbon dioxide의 통계특성

Descriptive Statistics							
	Range Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean	Std. Error	Std. Deviation	Variance Statistic
NH ₃	1.5	6.0	7.5	6.8	0.4	0.8	0.6
H ₂ S	0.2	0.3	0.5	0.4	0.1	0.1	0.0
CO ₂	500	1050	1550	1317	145	252	63333

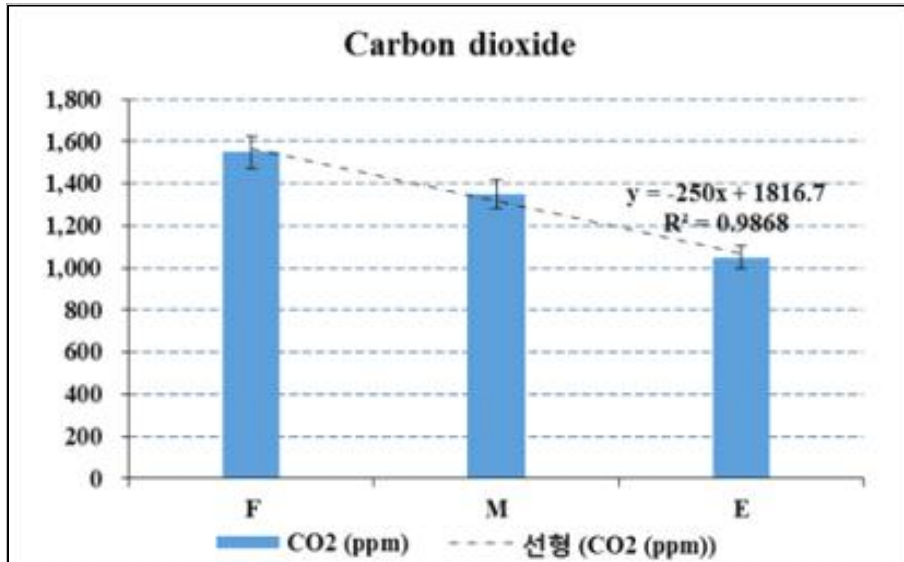
*ammonia (NH₃), hydrogen sulphide (H₂S) and carbon dioxide (CO₂)

- Ammonia 농도는 전면에서 중간면으로 가면서 높아졌다가 후면에서 감소하는 경향을 보였다. 이는 공기유동이 중간면에서 안정되지 못한데서 오는 농도 집적으로 보인다.



[그림 15] 밀폐돈사의 지점별 암모니아 황화수소 농도 분포
(F : Front of room, M : Middle of room, E : Rear of the room)

- 기본적으로 암모니아는 돼지의 오줌에서 유래되며, 황화수소는 분변이 혐기 발효되면서 유래되는 것으로 여겨진다([그림 15] 참조). 밀폐돈사에서의 CO₂ 는 기본적으로 돼지의 호흡, 유기물의 호기적 분해 등에서 발생되며, 환기에 의하여 돈사 외부로 배기된다. CO₂ 농도분포는 [그림 11], [그림 16]에서와 같이 공기유속 및 환기시스템과 밀접한 관계가 있음을 확인하였다.



[그림 16] 밀폐 비육돈사의 CO₂ (온실가스) 농도분포

(F : Front of room, M : Middle of room, E: Rear of the room)

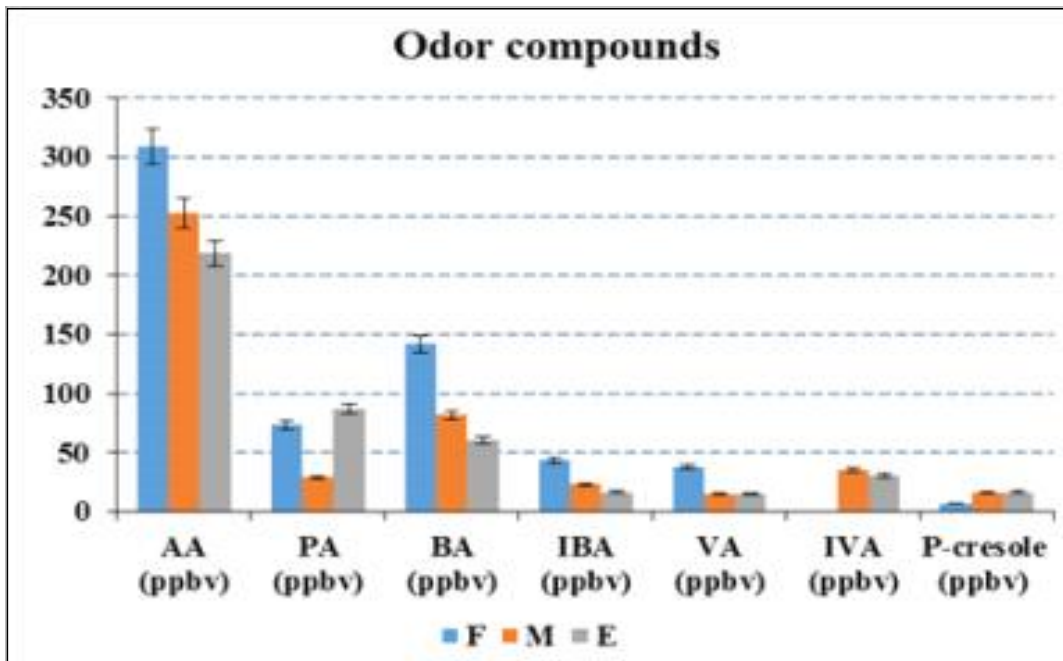
(5) Odor compounds analysis (VOCs)

- acetic acid (AA), Buteric acid (BA), propionic acid (PA), valeric acid (VA), iso-valeric acid (iVA), iso-buteric acid (iBA), Dimethyle sulphide (DMS), Dimethyle disulphide (DMDS) 등의 volatile organic compounds (VOCs)의 통계분석 결과는 [표-6]에 주어져 있다. 이들의 평균농도는 각각 260, 63, 94.6, 27.6, 22.6 22.2, 13.3 1,946, 245 ppbv등으로 분석되었다. 지점별 AA, BA, VA 농도변화는 유숙과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

[표 6] 밀폐 비육돈사의 악취화합물 통계분석

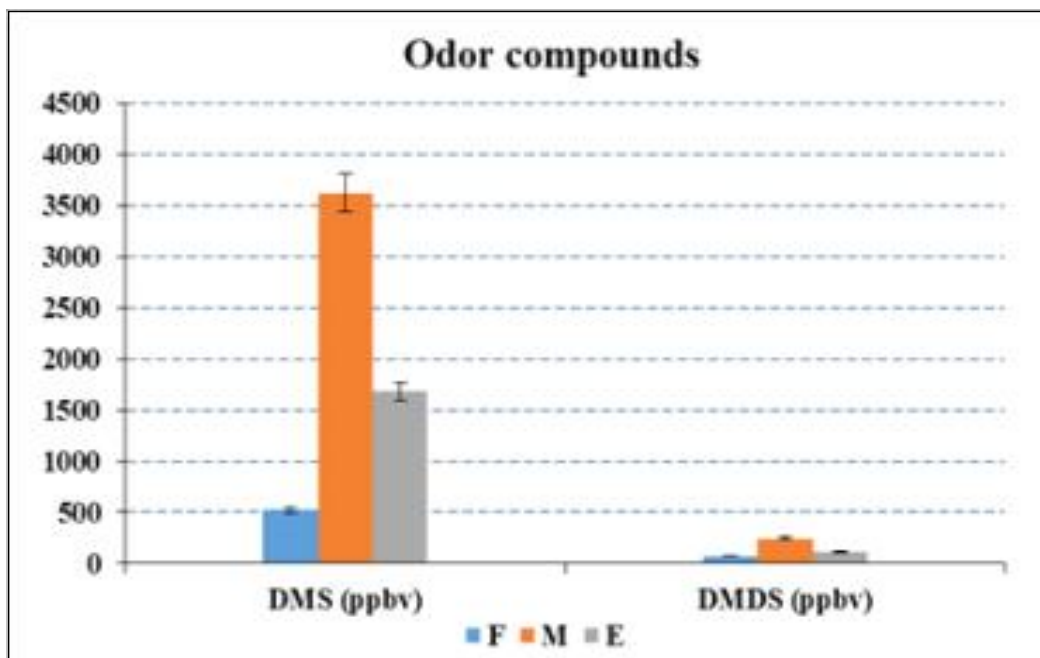
Descriptive Statistics							
	Range Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean	Std. Error	Std. Deviation	Variance Statistic
AA	90	219	309	260	26	46	2078
PA	58.2	28.8	87.0	63.0	17.6	30.4	924.1
BA	81.2	60.5	141.7	94.6	24.3	42.1	1776.1
IBA	26.8	16.5	43.4	27.6	8.1	14.0	196.9
VA	23.4	14.7	38.1	22.6	7.7	13.4	179.9
IVA	35.7	0.0	35.7	22.2	11.2	19.4	374.5
P-cresol	9.8	6.8	16.7	13.3	3.2	5.6	31.0
DMS	3106	524	3630	1946	906	1570	2463833
DMDS	171	74	245	143	52	90	8160

* AA : acetic acid, BA : Buteric acid, PA : propionic acid, VA: valeric acid, IVA: iso valeric acid, IBA: Iso buteric acid, DMS : Dimethyle sulphide, and DMDS : dimethyle di sulphide. (unit : ppbv)



[그림 17] 실험중 밀폐돈사의 세 지점별 악취화합물의 농도
(F : Front of room, M : Middle of room, E : Rear of the room)

- 실험 중 황화합물 악취농도는 중간지점이 가장 높게 나타나며 후면 다음으로 높게 나타났다. ([그림 18]). 이는 후면에서의 유속이 높아 악취를 많이 배기하기 때문으로 판단된다.



[그림 18] 실험 중 밀폐돈사의 지점별 악취농도
(F : Front of room, M : Middle of room, E : Rear of the room)

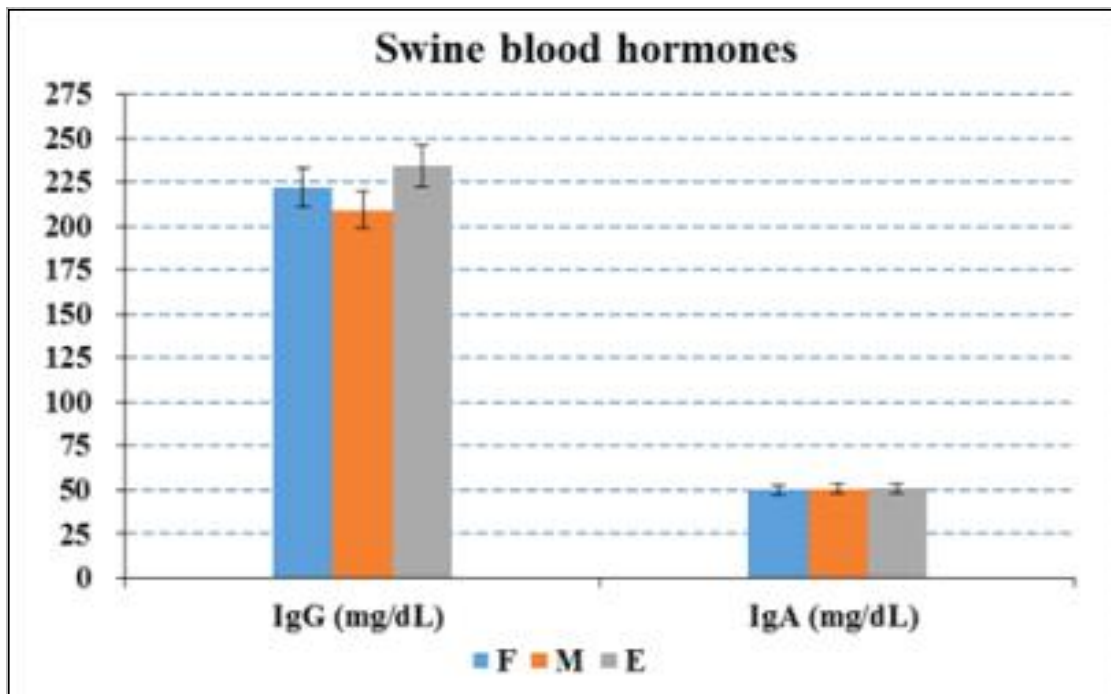
(6) 비육돈의 스트레스 호르몬수준 (Stress hormone level in blood of swine)

- 밀폐 비육돈사의 스트레스 호르몬의 수준은 [표-7]에 나타나 있다. 비육돈의 평균 IgG, IgA, ACTH and Cortisol은 각각 220mg/dL, 50.6mg/dL, 2.3pg/dL, 1.7 ug/dL 으로 분석되었다.

표 7. 밀폐돈사의 비육돈 혈액호르몬 농도분석

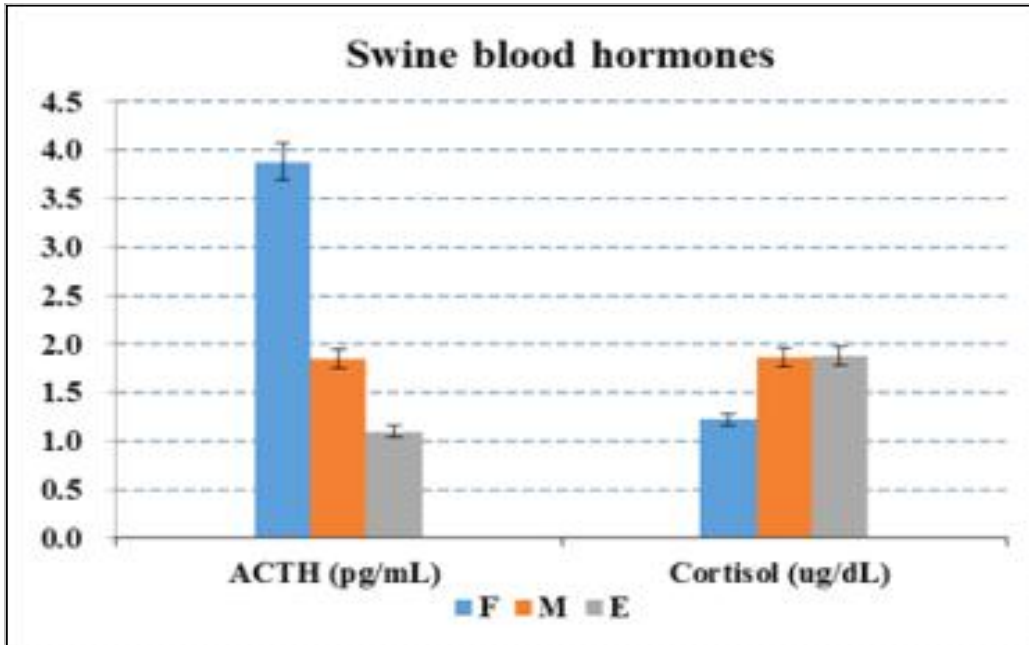
Descriptive Statistics							
	Range Statistic	Minimum Statistic	Maximum Statistic	Mean	Std. Error	Std. Deviation	Variance Statistic
IgG	25	209	234	222	7	12	154
IgA	1.0	50.2	51.2	50.6	0.3	0.5	0.3
ACTH	2.8	1.1	3.9	2.3	0.8	1.4	2.1
Cortisol	0.7	1.2	1.9	1.7	0.2	0.4	0.1

* units of IgG, IgA, ACTH and Cortisol was mg/dL, mg/dL, pg/dL, and ug/dL



[그림 19] 실험중 SCBs (밀폐돈사)의 세 지점에서의 스트레스호르몬농도
(F : Front of room, M : Middle of room, E : rear of room)

- 본 연구결과 ACTH hormone은 지점별 유속과 상관성을 보이거나 cortisol 호르몬 농도는 지점에 따른 유속에 따른 변화가 거의 없었다.



[그림 20] 실험기간 중 비육돈사 세 지점의 스트레스 호르몬 농도
(F : Front of room, M : Middle of room, and E : rear of room)

- 실험기간 중 악취와 온실가스 및 스트레스 호르몬과의 상관관계에서 H2S는 IgG 와 정(正)의 상관관계를 보이거나 CO₂는 IgA는 부(負)의 상관관계를 보였다. BA는 ACTH와 높은 정(正)의 상관관계를 보였으며, iBA, VA, p-cresol은 cortisol과는 높은 정(正)의 상관 관계를 보였다. ([표 8]).

(7) 악취와 온실가스 및 돼지 스트레스호르몬간의 Pearson 상관계수분석

[표 8] 약취와 온실가스 및 돼지 스트레스호르몬간의 Pearson 상관계수분석

	Parameters	AA	PA	BA	IBA	VA	IVA	P-cresol	DMS	DMDS	NH3	H2S	CO2	IgG	IgA	ACTH	Cortisol	
Odorous compounds	AA	1.0																
	PA	-0.1	1.0															
	BA	1.0	0.0	1.0														
	IBA	1.0	0.1	1.000*	1.0													
	VA	0.9	0.3	1.0	1.0	1.0												
	IVA	-0.9	-0.4	-0.9	-0.9	-1.0	1.0											
	P-cresol	-0.9	-0.3	-1.0	-1.0	-.999*	1.0	1.0										
	DMS	-0.5	-0.8	-0.6	-0.6	-0.8	0.9	0.8	1.0									
	DMDS	-0.3	-0.9	-0.5	-0.5	-0.7	0.8	0.6	1.0	1.0								
	NH3	0.5	-0.9	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.2	0.5	0.6	1.0							
H2S	-0.4	1.0	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.6	-0.7	-1.0	1.0							
Green house gas	CO2	1.0	-0.3	0.9	0.9	0.8	-0.7	-0.8	-0.3	-0.1	0.7	-0.6	1.0					
Swine hormone	IgG	-0.4	1.0	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.6	-0.8	-1.0	1.000**	-0.6	1.0				
	IgA	-0.9	0.4	-0.9	-0.9	-0.7	0.7	0.8	0.2	0.0	-0.8	0.7	-.997*	0.6	1.0			
	ACTH	1.0	0.0	1.000**	.999*	1.0	-0.9	-1.0	-0.6	-0.4	0.4	-0.3	0.9	-0.2	-0.9	1.0		
	Cortisol	-0.9	-0.3	-1.0	-1.0	-1.000*	1.0	1.000*	0.8	0.7	-0.2	0.0	-0.8	0.0	0.8	-1.0	1.0	

가. 결론

- 본 실험에서의 밀폐돈사의 실내 악취화합물의 농도가 매우 낮아 악취농도와 스트레스 홀몬 간의 상관성을 관찰하기 힘들었다. 그러므로 적정환기전략이 청정공기질을 유지하는 데 매우 중요함을 확인하였다.

3. 악취 및 온실가스저감시스템 표준화 (Standardization of reducing GHOG system)

가. 바이오필터 시스템 (BF: biofiltration system)

- 자체 설계, 제작한 BF를 대학부속 목장 밀폐 비육돈사에 입지시켜 이의 악취 및 온실저감시스템의 효율을 검증하였다. 이 BF는 cellulose pad 필터와 수재순환시스템, 유속 (airspeed), 정압차 (pressure drop), 습도 (humidly), 온도(temperature) 등을 감응할 수 있는 감응센서와 이의 data를 입력, 운영관리할 수 있는 data logger로 구성되어 있다.
- 밀폐돈사에서 축류(軸流) 배기팬에 의해 배기(排氣)되는 악취공기는 BF로 인입되며, 인입된 오염공기는 1차, 2차 셀룰로즈 패드 표면에서 서식 미생물의 유기물 분해작용에 의해 희석된 악취공기는 지붕팬에 의하여 대기로 발산된다. 물론 패드 표면에 순환수가 흘러내리게 하여 습윤상태를 유지한다. 이는 미생물 서식환경을 좋게 하려 함뿐만 아니라 암모니아 가스를 용해(溶解)하여 암모니아 이온(NH₄⁺)화하여 암모니아가스를 희석하려 함이다.

나. BF의 성적 (Performance evaluation)

(1) BF평가 항목 :

- Gas Detection Tubes: ammonia, hydrogen sulphide, carbon dioxide 농도를 측정할 수 있는 기기 예를 들면 Gastec
- Gas Chromatography - mass spectrometry (GC-MS) : volatile organic compound (VOC) 농도 측정 장치
- BF 악취평가란 BF가 습윤상태에서 악취농도를 저감할 수 있음을 의미한다.
- BF의 패드의 습윤상태가 저하되면 악취희석효율도 저하된다.
- BF에 가습(加濕)추가는 장기적으로 BF의 악취희석 효율에 긍정적인 영향을 미치지 못한다. 패드 유하수(流下水) 정도면 충분하다 여겨진다.
- BF유입시 돈사의 냄새와 별반 다르지 않으나 배기시에는 잔디 또는 humus 흙 냄새가 발산된다.
- 본 연구의 BF 인입 암모니아가스의 농도는 GasTec기기로 측정한 결과 5 ppm~19.5ppm의 범위로 관찰되었으며, 배출 암모니아 농도는 1 ppm 정도로 분석되었다. 본 연구의 BF의 Ammonia 제거효율은 80~95%이며, 1ppm 이하로 거의 인지되지 않았다.
- 악취농도의 GC-MS 분석기법은 매우 정밀한 것으로 판명되었으며 GC에 의한 악취저감 효율을 평가하는 데도 매우 유용하다. 특히 AA에 의한 저감효율은 90~95%에 이른다.
- 본 연구의 결과, 자체 설계, 제작한 BF는 밀폐 비육돈사의 악취를 효율적으로 희석하는 데 유용한 시스템으로 검증(檢證)되었다.

다. 밀폐 비육돈사의 BF 설계 제안

효율적인 BF 설계를 위한 요건들은 요약하면 다음과 같다.

- ① BF 여재의 선택 (셀룰로즈 패드)
- ② BF 유동율-정압차 등 변수별 최적 공학설계
- ③ 크기 결정 (여재두께, 면적, 패드간 폭 등)
- ④ 악취공기의 BF 면으로의 유도
- ⑤ 효율적인 악취회석을 위한 유동율 결정
- ⑥ BF 구조물의 정밀 설계 및 재료
- ⑦ 미생물 양호한 서식환경 제공 (microbial activity_온도 및 습도)

4. 제 3 협동 : 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육 시스템 개발

가. 1차년도

- 분만돈사 내부의 계절별 시설별 환경을 측정된 결과는 표 1과 같았음
- 계절 및 시설에 상관없이 상대습도, 풍속 및 암모니아 농도는 적정범위 내에 모두 포함되어 이들 요소가 분만모돈의 생산성과 스트레스 등에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었음
- 그러나 온도의 경우 봄, 가을 및 겨울에는 상한임계온도로 나타났으나 여름에는 이보다 훨씬 높게 나타났기 때문에 여름철 온도가 분만모돈의 생산성과 스트레스에 악영향을 미친 것으로 판단되었음

표 1. 계절별 시설별 환경 측정 결과

Season	Treatment	온도 (°C)	상대습도 (%)	풍속 (m/s)	암모니아 (ppm)
Spring	SSFC	24.0 ± 0.94	61.7 ± 1.8	0.01 ± 0.00	2.90 ± 0.55
	SLBFC	25.0 ± 0.45	62.2 ± 1.5	0.01 ± 0.00	0.17 ± 0.04
Summer	SSFC	31.1 ± 0.88	81.2 ± 1.1	0.05 ± 0.03	2.30 ± 1.65
	SLBFC	31.5 ± 0.75	79.5 ± 1.7	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.00
Fall	SSFC	25.1 ± 0.87	57.7 ± 1.6	0.01 ± 0.00	3.10 ± 0.62
	SLBFC	26.4 ± 0.65	59.2 ± 1.8	0.01 ± 0.00	3.40 ± 0.54
Winter	SSFC	23.4 ± 0.79	53.1 ± 2.8	0.01 ± 0.00	10.50 ± 3.10
	SLBFC	25.1 ± 0.94	52.3 ± 1.7	0.01 ± 0.00	2.50 ± 0.23

* SSFC : 임신사의 개별 스톨 시설에서 분만사의 분만틀로 옮겨 사육한 그룹

* SLBFC : 임신사의 Shoulder length barrier 시설에서 분만사의 분만틀로 옮겨 사육한 그룹

- 계절별 시설별 분만모돈의 생산성을 측정된 결과는 표 2와 같았음
- 동일 계절에서 시설 간의 분만모돈의 생산성은 차이가 없었음(p>0.05)
- 그러나 봄, 가을 및 겨울에 비하여 여름에 평균산자수와 평균이유두수가 낮은 경향이 나타났으며, 이는 다른 계절에 비하여 여름에 분만모돈이 더위 스트레스를 받았기 때문인 것으로 판단됨

- 결과적으로 임신사의 사육 시설 (개별 스톨 시설, Shoulder length barrier 시설)이 분만모돈의 생산성에 영향을 미치지 않은 것으로 판단됨

표 2. 계절별 시설별 생산성 측정 결과

Season	Treatment	평균산자수 (piglets/litter)	평균생시체중 (kg/hd)	평균이유두수 (piglets/litter)	평균이유체중 (kg/hd)	모돈 BCS
Spring	SSFC	10.6 ± 0.33	1.38 ± 0.40	10.3 ± 0.21	7.37 ± 0.11	3.5 ± 0.01
	SLBFC	11.3 ± 0.28	1.46 ± 0.37	10.3 ± 0.20	7.37 ± 0.12	3.5 ± 0.01
Summer	SSFC	9.6 ± 0.32	1.34 ± 0.38	9.2 ± 0.23	7.24 ± 0.11	3.5 ± 0.01
	SLBFC	10.2 ± 0.21	1.42 ± 0.40	9.8 ± 0.21	7.24 ± 0.13	3.5 ± 0.01
Fall	SSFC	10.5 ± 0.27	1.37 ± 0.41	10.1 ± 0.22	7.88 ± 0.12	3.5 ± 0.01
	SLBFC	10.8 ± 0.23	1.45 ± 0.30	10.5 ± 0.21	7.88 ± 0.12	3.5 ± 0.01
Winter	SSFC	10.2 ± 0.30	1.40 ± 0.35	10.0 ± 0.23	7.71 ± 0.13	3.5 ± 0.01
	SLBFC	10.4 ± 0.23	1.43 ± 0.31	10.4 ± 0.22	7.71 ± 0.13	3.5 ± 0.01

* SSFC : 임신사의 개별 스톨 시설에서 분만사의 분만틀로 옮겨 사육한 그룹

* SLBFC : 임신사의 Shoulder length barrier 시설에서 분만사의 분만틀로 옮겨 사육한 그룹

나. 2차년도

- 임신돈사 내부의 계절별 시설별 환경을 측정된 결과는 표 1과 같았다.
- 계절 및 시설에 상관없이 상대습도, 풍속 및 암모니아 농도는 적정범위 내에 모두 포함되어 이들 요소가 임신돈의 생산성과 스트레스 등에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.
- 그러나 온도의 경우 봄, 가을 및 겨울에는 상한임계온도 이하로 나타났으나 여름에는 이보다 훨씬 높게 나타났기 때문에 여름철 온도가 임신돈의 생산성과 스트레스에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.
- 전반적으로 동일 계절에서 처리구간의 임신돈사 내 온도, 상대습도 및 풍속 등이 유의적 차이가 없었다($p>0.05$). 그러나 암모니아 농도는 인위적으로 조절했기 때문에 차이가 있었으나 상한임계농도 이하로 유지되었기 때문에 임신돈의 생산성과 스트레스에 악영향을 미치지 않았을 것으로 판단되었다.

표 1. 임신돈사 내 계절별 시설별 암모니아 농도별 환경 측정 결과

Season	Treatment		Indoor temperature (°C)	Relative humidity (%)	Air velocity (m/s)	Ammonia (ppm)
	Facilities	Ammonia (ppm)				
Spring	Single stall	5±3	19.1 ± 0.74	51.4 ± 1.6	0.01 ± 0.00	4.9 ± 0.53
		10±3	20.2 ± 0.75	53.4 ± 1.7	0.01 ± 0.00	11.3 ± 0.44
		15±3	20.1 ± 0.87	54.4 ± 1.9	0.01 ± 0.00	14.8 ± 0.62
	Shoulder length barrier	5±3	19.3 ± 0.65	49.3 ± 1.7	0.01 ± 0.00	4.7 ± 0.63
		10±3	20.3 ± 0.77	51.4 ± 1.8	0.01 ± 0.00	10.9 ± 0.54
		15±3	21.0 ± 0.69	52.5 ± 1.7	0.01 ± 0.00	15.9 ± 1.63
Summer	Single stall	5±3	31.1 ± 0.83	79.3 ± 1.3	0.06 ± 0.03	2.1 ± 1.65
		10±3	30.8 ± 0.76	78.8 ± 1.3	0.05 ± 0.07	9.3 ± 2.55
		15±3	31.9 ± 0.98	79.9 ± 1.3	0.04 ± 0.04	15.5 ± 1.23
	Shoulder length barrier	5±3	31.5 ± 0.75	78.1 ± 2.7	0.05 ± 0.11	3.7 ± 1.55
		10±3	31.4 ± 0.88	79.2 ± 1.5	0.04 ± 0.03	12.6 ± 1.21
		15±3	32.3 ± 0.88	79.7 ± 2.3	0.03 ± 0.04	16.5 ± 1.56
Fall	Single stall	5±3	22.1 ± 0.89	50.7 ± 1.5	0.01 ± 0.00	4.1 ± 0.63
		10±3	21.9 ± 0.75	52.1 ± 1.7	0.01 ± 0.00	11.2 ± 0.53
		15±3	23.2 ± 0.79	52.5 ± 1.9	0.01 ± 0.00	15.2 ± 0.66
	Shoulder length barrier	5±3	22.3 ± 0.75	52.2 ± 1.9	0.01 ± 0.00	5.7 ± 0.23
		10±3	23.1 ± 0.77	53.3 ± 1.8	0.01 ± 0.00	11.6 ± 0.53
		15±3	22.9 ± 0.96	53.8 ± 2.1	0.01 ± 0.00	16.7 ± 0.99
Winter	Single stall	5±3	23.2 ± 0.67	51.1 ± 3.4	0.01 ± 0.00	5.9 ± 0.66
		10±3	22.7 ± 0.86	51.1 ± 3.4	0.01 ± 0.00	10.3 ± 0.76
		15±3	23.0 ± 0.68	51.1 ± 3.4	0.01 ± 0.00	14.9 ± 0.88
	Shoulder length barrier	5±3	23.3 ± 0.93	49.8 ± 1.9	0.01 ± 0.00	4.9 ± 0.76
		10±3	23.7 ± 1.90	51.2 ± 1.7	0.01 ± 0.00	11.9 ± 0.65
		15±3	23.5 ± 0.92	52.4 ± 2.0	0.01 ± 0.00	15.3 ± 1.87

- 계절별 시설별 암모니아 농도별 임신돈의 PRRS 항체가, 세균성 호흡기 질병 항체가 및 스트레스 호르몬 (cortisol) 농도 측정은 시험농장의 농장주가 임신돈이 채혈에 따른 보정 및 채혈 스트레스에 의해 유산 및 사산할 가능성이 높을 것으로 우려하여 강하게 반대함에 따라 채혈할 수 없어서 불가능했다.
- 계절별 시설별 암모니아 농도 10ppm 돈방의 낙하세균 검사결과는 표 2와 같았다.
- 계절별 낙하세균의 경우 두 농장 간 차이점이 개별 스톨 시설 사육 농장에 비하여 Shoulder length barrier 시설 사육 농장이 약간 높게 나타났지만, 유의적인 차이가 인정되지 않았다($p>0.05$).

표 2. 계절별 시설별 임신모돈 돈방의 낙하세균 검사결과

Season	Treatment		CFU
Spring	Single stall	돈방1-1	216
		1-2	209
		1-3	201
		1-4	148
		1-5	112
		평균	177.20±78.3
	Shoulder length barrier	돈방1-1	175
		1-2	269
		1-3	301
		1-4	177
		1-5	186
		평균	221.60±49.2
Summer	Single stall	돈방1-1	66
		1-2	49
		1-3	61
		1-4	51
		1-5	40
		평균	53.40±22.9
	Shoulder length barrier	돈방1-1	38
		1-2	31
		1-3	32
		1-4	39
		1-5	55
		평균	39.00±12.7
Fall	Single stall	돈방1-1	148
		1-2	195
		1-3	199
		1-4	184
		1-5	166
		평균	178.40±60.5
	Shoulder length barrier	돈방1-1	299
		1-2	225
		1-3	298
		1-4	161
		1-5	126

		평균	221.80±28.9
Winter	Single stall	돈방1-1	151
		1-2	106
		1-3	104
		1-4	88
		1-5	74
		평균	104.60±12.4
	Shoulder length barrier	돈방1-1	136
		1-2	175
		1-3	153
		1-4	92
		1-5	81
평균	127.40±33.6		

- 분만모든의 백신현황 및 건강상태 결과는 표 3과 같았다.
- 분만모든의 백신현황 및 건강상태 결과에 의하면, 개별 스톨 시설 사육 농장과 Shoulder length barrier 시설 사육 농장 모두에서 소화기 및 호흡기의 건강상태가 양호한 것으로 나타났다.

표 3. 모든의 백신현황 및 건강상태 결과

Treatment	백신현황	건강상태	비고
Single stall	PCV, JEV, Parvo, AR, FMD	소화기 및 호흡기 양호	
Shoulder length barrier	PCV, JEV, AR, FMD	소화기 및 호흡기 양호	

- 계절별 시설별 암모니아 농도별 임신돈의 생산성을 측정된 결과는 표 4, 5, 6과 같았다.
- 임신돈의 BCS, 평균산자수 및 평균생시체중에 대한 시설 처리 효과가 인정되지 않았다(p>0.05).
- 임신돈의 BCS, 평균산자수 및 평균생시체중에 대한 암모니아 농도 처리 효과가 인정되지 않았다(p>0.05).
- 임신돈의 BCS, 평균산자수 및 평균생시체중에 대한 시설 처리와 암모니아 농도 처리의 상호효과가 인정되지 않았다(p>0.05).
- 결과적으로 임신사의 사육 시설 (개별 스톨 시설, Shoulder length barrier 시설)과 암모니아 농도가 임신돈의 생산성에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.
- 이상의 결과들을 종합해 볼 때, 개별 스톨 시설 사육과 Shoulder length barrier 시설 사육 간의 환경과 생산성이 차이가 없기 때문에 복지측면에서 임신돈의 행동을 극한적으로

제한하는 개별 스톨 시설 사육보다는 임신돈의 행동을 어느 정도 자유롭게 보장해 줄 수 있는 Shoulder length barrier 시설 사육이 바람직한 것으로 판단된다.

표 4. 계절별 시설별 암모니아 농도별 임신돈의 BCS에 대한 통계처리 결과

Season	Treatment		Body condition score	Significance probability (p-value)
	Facilities	Ammonia (ppm)		
Spring	Single stall	5±3	3.2 ± 0.25	시설 = 0.067 암모니아 농도 = 0.731 시설 * 암모니아 농도 = 0.303
		10±3	3.0 ± 0.43	
		15±3	3.2 ± 0.25	
	Shoulder length barrier	5±3	3.4 ± 0.17	
		10±3	3.4 ± 0.17	
		15±3	3.3 ± 0.25	
Summer	Single stall	5±3	2.8 ± 0.25	시설 = 0.225 암모니아 농도 = 0.188 시설 * 암모니아 농도 = 0.344
		10±3	2.9 ± 0.17	
		15±3	2.8 ± 0.25	
	Shoulder length barrier	5±3	2.9 ± 0.17	
		10±3	3.2 ± 0.25	
		15±3	2.8 ± 0.25	
Fall	Single stall	5±3	3.2 ± 0.25	시설 = 0.184 암모니아 농도 = 0.962 시설 * 암모니아 농도 = 0.114
		10±3	3.2 ± 0.25	
		15±3	3.3 ± 0.25	
	Shoulder length barrier	5±3	3.4 ± 0.17	
		10±3	3.4 ± 0.17	
		15±3	3.3 ± 0.25	
Winter	Single stall	5±3	3.2 ± 0.25	시설 = 0.187 암모니아 농도 = 0.554 시설 * 암모니아 농도 = 0.168
		10±3	3.2 ± 0.25	
		15±3	3.0 ± 0.43	
	Shoulder length barrier	5±3	3.4 ± 0.17	
		10±3	3.2 ± 0.25	
		15±3	3.3 ± 0.25	

표 5. 계절별 시설별 암모니아 농도별 임신돈의 평균산자수에 대한 통계처리 결과

Season	Treatment		Average litter size (piglets/litter)	Significance probability (p-value)
	Facilities	Ammonia (ppm)		
Spring	Single stall	5±3	11.1 ± 0.93	시설 = 0.063 암모니아 농도 = 0.500 시설 * 암모니아 농도 = 0.851
		10±3	11.0 ± 1.32	
		15±3	10.8 ± 1.20	
	Shoulder length barrier	5±3	11.3 ± 0.50	
		10±3	11.3 ± 0.50	
		15±3	11.3 ± 0.50	
Summer	Single stall	5±3	10.0 ± 0.87	시설 = 0.130 암모니아 농도 = 0.500 시설 * 암모니아 농도 = 0.212
		10±3	9.3 ± 0.50	
		15±3	10.0 ± 0.87	
	Shoulder length barrier	5±3	10.3 ± 0.50	
		10±3	10.3 ± 0.50	
		15±3	10.3 ± 0.50	
Fall	Single stall	5±3	10.3 ± 0.50	시설 = 0.184 암모니아 농도 = 0.500 시설 * 암모니아 농도 = 0.518
		10±3	10.7 ± 0.50	
		15±3	10.3 ± 0.50	
	Shoulder length barrier	5±3	10.7 ± 0.50	
		10±3	10.7 ± 0.50	
		15±3	10.7 ± 0.50	
Winter	Single stall	5±3	10.4 ± 1.13	시설 = 0.094 암모니아 농도 = 0.500 시설 * 암모니아 농도 = 0.868
		10±3	10.4 ± 1.01	
		15±3	10.2 ± 0.67	
	Shoulder length barrier	5±3	10.6 ± 0.73	
		10±3	10.8 ± 1.09	
		15±3	10.7 ± 1.00	

표 6. 계절별 시설별 암모니아 농도별 임신돈의 평균생시체중에 대한 통계처리 결과

Season	Treatment		Average birth weight (kg/hd)	Significance probability (p-value)
	Facilities	Ammonia (ppm)		
Spring	Single stall	5±3	1.4 ± 0.18	시설 = 0.119 암모니아 농도 = 0.841 시설 * 암모니아 농도 = 0.774
		10±3	1.4 ± 0.16	
		15±3	1.4 ± 0.15	
	Shoulder length barrier	5±3	1.5 ± 0.18	
		10±3	1.4 ± 0.17	
		15±3	1.5 ± 0.14	
Summer	Single stall	5±3	1.4 ± 0.24	시설 = 0.383 암모니아 농도 = 0.591 시설 * 암모니아 농도 = 0.728
		10±3	1.4 ± 0.20	
		15±3	1.3 ± 0.11	
	Shoulder length barrier	5±3	1.4 ± 0.12	
		10±3	1.4 ± 0.18	
		15±3	1.4 ± 0.15	
Fall	Single stall	5±3	1.3 ± 0.25	시설 = 0.259 암모니아 농도 = 0.487 시설 * 암모니아 농도 = 0.401
		10±3	1.5 ± 0.16	
		15±3	1.4 ± 0.09	
	Shoulder length barrier	5±3	1.5 ± 0.21	
		10±3	1.5 ± 0.29	
		15±3	1.5 ± 0.19	
Winter	Single stall	5±3	1.4 ± 0.29	시설 = 0.286 암모니아 농도 = 0.848 시설 * 암모니아 농도 = 0.875
		10±3	1.4 ± 0.25	
		15±3	1.4 ± 0.19	
	Shoulder length barrier	5±3	1.4 ± 0.29	
		10±3	1.4 ± 0.17	
		15±3	1.4 ± 0.17	

다. 결론

- 전반적으로 동일 계절에서 처리구간의 임신돈사 내 온도, 상대습도 및 풍속 등이 유의적 차이가 없었다(p>0.05). 그러나 암모니아 농도는 인위적으로 조절했기 때문에 차이가 있었으나 상한임계농도 이하로 유지되었기 때문에 임신돈의 생산성과 스트레스에 악영향을 미치지 않았을 것으로 판단되었다.
- 계절별 낙하세균의 경우 개별 스톨 시설 사육 농장에 비하여 Shoulder length barrier 시설 사육 농장이 약간 높게 나타났지만, 유의적인 차이가 인정되지 않았다(p>0.05).
- 개별 스톨 시설 사육 농장과 Shoulder length barrier 시설 사육 농장 모두에서 소화기 및 호흡기의 건강상태가 양호한 것으로 나타났다.
- 임신사의 사육 시설 (개별 스톨 시설, Shoulder length barrier 시설)과 암모니아 농도가 임신돈의 생산성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 결론적으로 개별 스톨 시설 사육과 Shoulder length barrier 시설 사육 간의 환경과

생산성이 차이가 없기 때문에 복지측면에서 임신돈의 행동을 극한적으로 제한하는 개별 스톨 시설 사육보다는 임신돈의 행동을 어느 정도 자유롭게 보장해 줄 수 있는 Shoulder length barrier 시설 사육이 바람직한 것으로 판단된다.

다. 3차년도

- 이유자돈사 내부의 계절별 시설별 환경을 측정된 결과는 표 1과 같았다. 암모니아 농도는 처리구별로 목표한 대로 잘 유지되었으며, 이유자돈사 내부의 온도, 상대습도 및 풍속 등은 동일 계절 내에서 차이를 나타내지 않았다. 여름의 이유자돈사 내부 온도와 상대습도가 겨울과 봄에 비하여 높은 경향이 있었다.

표 1. 이유자돈사 내 계절별 처리구별 환경요소 측정 결과

Season	Treatment		Indoor temperature (°C)	Relative humidity (%)	Air velocity (m/s)	Ammonia (ppm)
	Stocking density	Ammonia (ppm)				
Winter	Low	5±3	29.1 ± 0.74	63.4 ± 1.6	0.06 ± 0.00	4.6 ± 0.34
		10±3	30.2 ± 0.75	63.4 ± 1.7	0.05 ± 0.00	11.4 ± 0.63
		15±3	30.1 ± 0.87	64.4 ± 1.9	0.05 ± 0.00	14.8 ± 0.24
	Medium	5±3	29.3 ± 0.65	68.3 ± 1.7	0.06 ± 0.00	4.9 ± 0.54
		10±3	30.3 ± 0.77	63.4 ± 1.8	0.06 ± 0.00	10.3 ± 0.52
		15±3	31.0 ± 0.69	67.5 ± 1.7	0.06 ± 0.00	15.4 ± 1.34
	High	5±3	30.3 ± 0.73	68.3 ± 1.6	0.05 ± 0.00	4.2 ± 0.54
		10±3	30.6 ± 0.86	66.4 ± 1.5	0.06 ± 0.00	10.6 ± 0.56
		15±3	29.9 ± 0.65	67.5 ± 1.3	0.05 ± 0.00	15.4 ± 1.73
Spring	Low	5±3	28.9 ± 0.52	62.4 ± 1.5	0.06 ± 0.00	4.5 ± 0.17
		10±3	30.5 ± 0.22	63.7 ± 1.1	0.06 ± 0.00	11.1 ± 0.30
		15±3	29.4 ± 0.65	66.2 ± 1.3	0.06 ± 0.00	15.6 ± 0.34
	Medium	5±3	29.9 ± 0.11	64.3 ± 0.9	0.05 ± 0.00	4.9 ± 0.14
		10±3	30.7 ± 0.24	65.4 ± 1.0	0.06 ± 0.00	9.8 ± 0.32
		15±3	30.5 ± 0.64	67.5 ± 1.6	0.04 ± 0.00	15.1 ± 1.17
	High	5±3	31.5 ± 0.12	66.3 ± 1.1	0.04 ± 0.00	4.7 ± 0.42
		10±3	30.9 ± 0.65	64.6 ± 1.3	0.05 ± 0.00	10.2 ± 0.23
		15±3	30.6 ± 0.45	65.3 ± 1.4	0.04 ± 0.00	14.9 ± 1.24
Summer	Low	5±3	33.9 ± 0.24	82.4 ± 2.1	0.06 ± 0.00	4.8 ± 0.26
		10±3	32.3 ± 0.53	83.7 ± 1.9	0.07 ± 0.00	10.1 ± 0.43
		15±3	32.6 ± 0.23	86.4 ± 1.4	0.07 ± 0.00	15.1 ± 0.72
	Medium	5±3	33.1 ± 0.34	84.2 ± 1.6	0.06 ± 0.00	5.2 ± 0.25
		10±3	29.6 ± 0.65	85.2 ± 2.3	0.05 ± 0.00	10.2 ± 0.83
		15±3	31.4 ± 0.26	81.3 ± 1.9	0.07 ± 0.00	14.7 ± 1.35
	High	5±3	31.8 ± 0.42	82.9 ± 2.1	0.08 ± 0.00	4.9 ± 0.41
		10±3	31.3 ± 0.37	81.6 ± 2.3	0.07 ± 0.00	11.2 ± 0.34
		15±3	32.1 ± 0.47	82.1 ± 0.9	0.06 ± 0.00	14.3 ± 1.63

- 육성돈사 내부의 계절별 시설별 환경을 측정된 결과는 표 2와 같았다. 암모니아 농도는 처리구별로 목표한 대로 잘 유지되었으며, 육성돈사 내부의 온도, 상대습도 및 풍속 등은 동일 계절 내에서 차이를 나타내지 않았다. 여름의 육성돈사 내부 온도와 상대습도가 겨울과 봄에 비하여 높은 경향이 있었다.

표 2. 육성돈사 내 계절별 처리구별 환경요소 측정 결과

Season	Treatment		Indoor temperature (°C)	Relative humidity (%)	Air velocity (m/s)	Ammonia (ppm)
	Stocking density	Ammonia (ppm)				
Winter	Low	5±3	26.2 ± 0.25	76.3 ± 1.9	0.12 ± 0.00	4.8 ± 0.45
		10±3	25.5 ± 0.26	75.7 ± 1.4	0.15 ± 0.00	10.2 ± 0.24
		15±3	25.5 ± 0.46	74.6 ± 1.5	0.14 ± 0.00	14.2 ± 0.62
	Medium	5±3	26.7 ± 0.52	75.2 ± 1.3	0.14 ± 0.00	4.2 ± 0.34
		10±3	25.3 ± 0.45	75.5 ± 1.6	0.12 ± 0.00	9.8 ± 0.54
		15±3	27.4 ± 0.62	76.3 ± 1.7	0.13 ± 0.00	14.6 ± 1.34
	High	5±3	25.6 ± 0.72	74.6 ± 1.4	0.13 ± 0.00	4.9 ± 0.62
		10±3	26.5 ± 0.13	73.2 ± 1.6	0.11 ± 0.00	11.1 ± 0.72
		15±3	26.7 ± 0.37	77.5 ± 1.7	0.13 ± 0.00	14.9 ± 1.32
Spring	Low	5±3	27.9 ± 0.25	79.4 ± 1.3	0.14 ± 0.00	4.9 ± 0.42
		10±3	25.4 ± 0.61	77.4 ± 1.5	0.15 ± 0.00	11.9 ± 0.13
		15±3	25.7 ± 0.32	76.3 ± 1.1	0.13 ± 0.00	15.4 ± 0.12
	Medium	5±3	26.5 ± 0.56	78.4 ± 0.3	0.13 ± 0.00	4.1 ± 0.62
		10±3	26.8 ± 0.21	75.4 ± 1.6	0.15 ± 0.00	9.9 ± 0.73
		15±3	25.9 ± 0.72	79.5 ± 1.7	0.16 ± 0.00	14.5 ± 1.37
	High	5±3	27.8 ± 0.34	76.3 ± 1.2	0.13 ± 0.00	5.2 ± 0.83
		10±3	29.1 ± 0.73	79.1 ± 1.3	0.13 ± 0.00	10.6 ± 0.26
		15±3	28.8 ± 0.23	65.3 ± 1.5	0.15 ± 0.00	14.4 ± 1.27
Summer	Low	5±3	31.5 ± 0.47	81.3 ± 2.3	0.16 ± 0.00	5.8 ± 0.23
		10±3	32.5 ± 0.26	82.4 ± 3.6	0.17 ± 0.00	9.6 ± 0.52
		15±3	31.2 ± 0.56	82.6 ± 2.3	0.15 ± 0.00	14.2 ± 0.72
	Medium	5±3	33.1 ± 0.27	84.1 ± 2.5	0.14 ± 0.00	5.9 ± 0.24
		10±3	32.4 ± 0.25	83.2 ± 3.3	0.16 ± 0.00	11.3 ± 0.45
		15±3	31.9 ± 0.77	84.1 ± 2.9	0.17 ± 0.00	15.2 ± 1.66
	High	5±3	31.3 ± 0.54	82.2 ± 1.1	0.17 ± 0.00	5.2 ± 0.24
		10±3	32.9 ± 0.64	82.3 ± 3.3	0.18 ± 0.00	10.9 ± 0.82
		15±3	33.1 ± 0.25	85.1 ± 2.9	0.17 ± 0.00	15.3 ± 1.24

- 이유자돈들의 행동을 측정할 결과는 표 3과 같았다. 이유자돈들은 겨울과 봄에 사육밀도가 높아짐에 따라 걸어 다니는 행동, 옆으로 누워있는 행동 및 주둥이로 바닥을 헤집는 행동 등을 더 많이 나타내었으나 배를 깔고 있는 행동, 가려운 부분을 긁는 행동 및 먹는 행동 등을 덜 나타내었다. 이러한 결과를 고려해볼 때 사육밀도가 높아짐에 따라 상대적으로 편안하게 휴식하고 먹는 행동을 많이 못하고 다른 행동을 많이 함으로써 복지 측면이 좋지 않고, 이것이 결과적으로 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.
- 이유자돈들은 여름에 사육밀도가 높아짐에 따라 옆으로 누워있는 행동은 급격하게 줄고 배를 깔고 있는 행동은 급격하게 증가하였다. 이러한 결과가 나타난 이유는 사육밀도가 높아짐에 따라 더위스트레스를 어느 정도 받는 상태에서 다른 이유자돈들에게 간섭을 더 많이 받음으로써 편안하게 쉬지 못했기 때문인 것이었으며, 이것이 결과적으로 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.

표 3. 이유자돈사 내 계절별 사육밀도별 돼지 행동 측정 결과 (단위 : %)

Season	Stocking density	W	Sh	Str	Lly	Vly	Sc	Ro	J	E	St	Fsr
Winter	Low	2.0	0.3	0.1	5.9	47.3	4.3	3.1	1.1	26.2	8.9	0.8
	Medium	3.7	0.4	0.2	10.9	36.8	3.6	11.0	0.9	23.4	7.2	1.9
	High	5.4	0.3	0.1	16.6	31.7	2.8	14.9	0.6	19.9	5.3	2.4
Spring	Low	3.2	0.9	0.5	5.4	46.5	3.7	3.5	1.0	24.3	9.8	1.2
	Medium	3.9	0.6	0.4	10.2	37.9	3.2	10.4	1.0	21.9	8.4	2.1
	High	4.9	0.4	0.2	14.3	32.3	2.9	15.2	0.9	20.9	5.1	2.9
Summer	Low	5.2	0	0.2	36.2	39.9	0	3.7	0.2	11.9	1.9	0.8
	Medium	4.7	0	0.8	25.9	46.2	0	3.7	3.8	10.9	2.4	1.6
	High	4.4	0	1.1	16.1	54.5	0	3.8	6.1	10.4	2.9	0.7

* W : Walking, Sh : Shaking, Str : Stretch, Lly : Lateral lying, Vly : Ventral lying, Sc : Scratch, Ro : Rooting, J : Jumping, E : Eating, St : Standing, Fsr : Floor snout rubbing.

- 육성돈들의 행동을 측정할 결과는 표 4와 같았다. 육성돈들은 겨울과 봄에 사육밀도가 높아짐에 따라 앉아있는 행동, 주둥이로 바닥을 헤집는 행동, 옆으로 누워있는 행동 및 먹는

행동 등을 더 많이 나타내었으나 배를 깔고 있는 행동 및 가려운 부분을 긁는 행동 등을 덜 나타내었다. 특히 먹는 행동이 많이 증가하는 경향이 있었는데, 이는 군 크기가 커서 서로 더 많이 경쟁을 해야 하는 상황이라서 짧게 자주 먹는 행동을 한 것으로 판단되었다. 이러한 결과를 고려해볼 때 사육밀도가 높아짐에 따라 상대적으로 편안하게 먹는 행동을 많이 못하고 다른 행동을 많이 함으로써 복지 측면이 좋지 않고, 이것이 결과적으로 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.

- 육성돈들은 여름에 사육밀도가 높아짐에 따라 옆으로 누워있는 행동은 급격하게 줄고 배를 깔고 있는 행동과 먹는 행동은 급격하게 증가하였다. 이러한 결과가 나타난 이유는 사육밀도가 높아짐에 따라 더위스트레스를 어느 정도 받는 상태에서 다른 육성돈들에게 간섭을 더 많이 받음으로써 편안하게 쉬지 못할 뿐만 아니라 짧게 자주 먹는 행동을 했기 때문인 것이었으며, 이것이 결과적으로 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.

표 4. 육성돈사 내 계절별 사육밀도별 돼지 행동 측정 결과 (단위 : %)

Season	Stocking density	Sit	Ro	Lly	Vly	R	E
Winter	Low	0.9	11.3	27.9	42.3	1.8	15.8
	Medium	1.0	15.1	33.4	29.1	1.6	19.8
	High	1.1	18.0	38.4	18.5	1.3	22.7
Spring	Low	1.2	12.1	26.0	40.7	2.4	17.6
	Medium	1.6	15.4	33.1	28.6	1.2	20.1
	High	1.9	17.6	36.5	18.9	1.5	23.6
Summer	Low	2.2	4.0	70.0	8.1	1.3	14.4
	Medium	1.7	11.4	54.7	15.9	1.2	15.1
	High	1.1	17.3	39.3	19.0	0.7	22.6

* Sit : Sitting, Ro : Rooting, Lly : Lateral lying, Vly : Ventral lying, R : Rubbing, E : Eating.

- 이유자돈의 계절별 처리구별 생산성 측정 결과는 표 5와 같았다. 이유자돈의 경우 계절과 상관없이 사육밀도가 높아짐에 따라 종료체중과 일당증체량이 줄어드는 것으로 나타났다. 특히 겨울과 봄에는 생산성뿐만 아니라 시설이용효율을 고려해 볼 때 중밀도로 사육하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 그리고 여름에는 더위 스트레스를 고려하여 밀도를 낮춰 사육하는 방안을 고려해볼 필요가 있는 것으로 판단되었다.

표 5. 이유자돈의 계절별 처리구별 생산성 측정 결과

Season	Treatment		Starting weight (kg/hd)	Finishing weight (kg/hd)	Daily weight gain (g/hd/d)	Mortality (%)
	Stocking density	Ammonia (ppm)				
Winter	Low	5±3	5.6±0.4	17.6±0.4	415±30	0
		10±3	5.5±0.4	17.0±0.4	411±23	0
		15±3	5.9±0.4	17.7±0.5	420±25	0
	Medium	5±3	5.1±0.3	18.0±0.4	423±29	4
		10±3	6.1±0.3	17.9±0.3	423±22	0
		15±3	6.3±0.4	18.2±0.4	426±34	0
	High	5±3	6.1±0.4	18.0±0.4	422±29	0
		10±3	6.3±0.5	18.0±0.5	418±34	10
		15±3	6.3±0.3	18.1±0.4	423±37	0
	Significance probability		SD : 0.217 AM : 0.224 SD*AM : -	SD : 0.024 AM : 0.154 SD*AM : -	SD : 0.009 AM : 0.042 SD*AM : -	
Spring	Low	5±3	5.9±0.5	17.7±0.5	423±26	0
		10±3	6.0±0.5	17.8±0.6	422±35	0
		15±3	6.0±0.3	17.7±0.3	419±34	0
	Medium	5±3	6.4±0.3	18.4±0.3	429±29	0
		10±3	5.8±0.3	17.6±0.3	422±27	0
		15±3	5.9±0.3	17.9±0.3	427±34	0
	High	5±3	6.1±0.3	17.8±0.4	419±33	0
		10±3	6.2±0.3	17.9±0.4	418±29	0
		15±3	6.0±0.3	17.8±0.4	421±41	0
	Significance probability		SD : 0.766 AM : 0.640 SD*AM : -	SD : 0.589 AM : 0.636 SD*AM : -	SD : 0.072 AM : 0.430 SD*AM : -	
Summer	Low	5±3	6.1±0.4	18.9±0.5	457±27	0
		10±3	5.9±0.4	18.6±0.4	452±26	0
		15±3	6.1±0.4	18.9±0.5	456±35	0
	Medium	5±3	5.7±0.4	17.2±0.4	412±29	0
		10±3	6.4±0.3	18.0±0.4	415±44	0
		15±3	6.3±0.5	17.8±0.5	409±28	0
	High	5±3	5.8±0.5	17.0±0.6	401±24	0
		10±3	5.9±0.4	17.2±0.5	404±21	0
		15±3	6.0±0.4	17.2±0.5	400±24	0
	Significance probability		SD : 0.527 AM : 0.427 SD*AM : -	SD : 0.004 AM : 0.501 SD*AM : -	SD : 0.000 AM : 0.690 SD*AM : -	

* SD : stocking density, AM : ammonia.

- 육성돈의 계절별 처리구별 생산성 측정 결과는 표 6과 같았다. 육성돈의 경우 계절과 상관없이 사육밀도가 높아짐에 따라 종료체중과 일당증체량이 줄어드는 것으로 나타났다. 특히 겨울과 봄에는 생산성뿐만 아니라 시설이용효율을 고려해 볼 때 중밀도로 사육하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 그리고 여름에는 더위 스트레스를 고려하여 밀도를 낮춰 사육하는 방안을 고려해볼 필요가 있는 것으로 판단되었다.

표 6. 육성돈의 계절별 처리구별 생산성 측정 결과

Season	Treatment		Starting weight (kg/hd)	Finishing weight (kg/hd)	Daily weight gain (g/hd/d)	Mortality (%)
	Stocking density	Ammonia (ppm)				
Winter	Low	5±3	18.9±0.4	36.6±0.5	633±40	0
		10±3	19.1±0.3	36.9±0.3	635±35	3.5
		15±3	18.7±0.3	36.3±0.3	629±51	0
	Medium	5±3	19.4±0.4	36.1±0.4	598±35	3
		10±3	19.2±0.5	35.7±0.5	588±33	0
		15±3	19.3±0.3	35.8±0.3	591±34	0
	High	5±3	19.3±0.4	35.3±0.4	571±45	0
		10±3	19.1±0.4	35.0±0.5	569±39	0
		15±3	19.2±0.4	35.2±0.4	573±48	2.4
	Significance probability			SD : 0.070 AM : 0.605 SD*AM : -	SD : 0.005 AM : 0.544 SD*AM : -	SD : 0.000 AM : 0.555 SD*AM : -
Spring	Low	5±3	20.2±0.4	38.0±0.5	634±44	0
		10±3	20.9±0.5	38.7±0.5	636±42	0
		15±3	20.4±0.5	38.0±0.6	629±38	0
	Medium	5±3	21.5±0.3	38.0±0.4	589±39	0
		10±3	20.6±0.3	37.1±0.3	591±41	0
		15±3	21.9±0.3	38.4±0.3	590±42	0
	High	5±3	20.7±0.3	36.7±0.4	570±44	0
		10±3	22.1±0.4	37.9±0.4	566±46	0
		15±3	21.9±0.4	37.9±0.4	573±49	0
	Significance probability			SD : 0.229 AM : 0.571 SD*AM : -	SD : 0.466 AM : 0.639 SD*AM : -	SD : 0.000 AM : 0.992 SD*AM : -
Summer	Low	5±3	23.2±0.5	43.4±0.5	721±51	5.8
		10±3	22.5±0.3	42.7±0.4	723±59	0
		15±3	22.4±0.4	42.5±0.5	719±56	0
	Medium	5±3	23.0±0.4	39.7±0.4	597±55	0
		10±3	22.9±0.4	39.7±0.4	599±39	0
		15±3	23.4±0.3	40.3±0.3	605±42	10
	High	5±3	23.1±0.3	38.9±0.3	565±44	0
		10±3	23.2±0.3	39.1±0.3	569±46	4.7
		15±3	22.8±0.3	38.5±0.3	559±29	0
	Significance probability			SD : 0.414 AM : 0.673 SD*AM : -	SD : 0.001 AM : 0.811 SD*AM : -	SD : 0.000 AM : 0.718 SD*AM : -

* SD : stocking density, AM : ammonia.

- 계절별 사육밀도별 이유자돈 및 육성돈 PRRS 호흡기 질병 항체가를 측정 한 결과는 표 7, 8과 같았음.

표 7. 계절별 밀도별 이유자돈 PRRS 호흡기 항체가 검사결과

Season	Treatment		1	2	평균	결과값	판정*
Spring	저밀도	이유1	0.082	0.121	0.10	0.0356	N
		이유2	0.084	0.098	0.09	0.0295	N
		이유3	0.119	0.112	0.12	0.0187	N
		이유4	0.128	0.165	0.15	0.1124	N
		이유5	0.114	0.139	0.13	0.0452	N
	중밀도	이유1	0.135	0.11	0.12	0.0541	N
		이유2	0.094	0.145	0.12	0.1543	N
		이유3	0.113	0.088	0.10	0.0547	N
		이유4	0.122	0.079	0.10	0.0441	N
		이유5	0.128	0.124	0.13	0.0325	N
	고밀도	이유1	0.155	0.13	0.14	0.0547	N
		이유2	0.132	0.117	0.12	0.0446	N
		이유3	0.141	0.088	0.11	0.0248	N
		이유4	0.112	0.079	0.10	0.0234	N
		이유5	0.124	0.099	0.11	0.1520	N
Summer	저밀도	이유1	0.074	0.112	0.09	0.1145	N
		이유2	0.122	0.087	0.10	0.1462	N
		이유3	0.118	0.152	0.14	0.0452	N
		이유4	0.134	0.119	0.13	0.0147	N
		이유5	0.115	0.144	0.13	0.0159	N
	중밀도	이유1	0.186	0.16	0.17	0.1134	N
		이유2	0.116	0.13	0.12	0.0124	N
		이유3	0.148	0.098	0.12	0.0421	N
		이유4	0.145	0.088	0.12	0.0541	N
		이유5	0.149	0.114	0.13	0.0662	N
	고밀도	이유1	0.089	0.07	0.08	0.1102	N
		이유2	0.115	0.08	0.10	0.1403	N
		이유3	0.126	0.098	0.11	0.1114	N
		이유4	0.098	0.142	0.12	0.0543	N
		이유5	0.147	0.178	0.16	0.0552	N
Fall	저밀도	이유1	0.189	0.13	0.16	0.0222	N
		이유2	0.177	0.11	0.14	0.0841	N
		이유3	0.158	0.154	0.16	0.0621	N
		이유4	0.169	0.099	0.13	0.0228	N
		이유5	0.111	0.079	0.10	0.0885	N
	중밀도	이유1	0.089	0.074	0.08	0.1143	N
		이유2	0.138	0.09	0.11	0.0419	N
		이유3	0.199	0.08	0.14	0.0551	N
		이유4	0.201	0.156	0.18	0.0564	N
		이유5	0.115	0.124	0.12	0.0128	N
	고밀도	이유1	0.211	0.129	0.17	0.0845	N
		이유2	0.115	0.127	0.12	0.1122	N
		이유3	0.087	0.114	0.10	0.1187	N
		이유4	0.148	0.189	0.17	0.0627	N
		이유5	0.169	0.09	0.13	0.0452	N
Winter	저밀도	이유1	0.110	0.097	0.10	0.1114	N
		이유2	0.099	0.113	0.11	0.1659	N
		이유3	0.167	0.111	0.14	0.0558	N
		이유4	0.135	0.15	0.14	0.0884	N

	중밀도	이유5	0.168	0.141	0.15	0.1012	N
		이유1	0.099	0.16	0.13	0.1056	N
		이유2	0.147	0.118	0.13	0.1145	N
		이유3	0.115	0.136	0.13	0.1562	N
		이유4	0.204	0.07	0.14	0.0784	N
	고밀도	이유5	0.178	0.099	0.14	0.1063	N
		이유1	0.128	0.08	0.10	0.0985	N
		이유2	0.114	0.181	0.15	0.0214	N
		이유3	0.099	0.081	0.09	0.0335	N
		이유4	0.079	0.121	0.10	0.0235	N
		이유5	0.137	0.077	0.11	0.0369	N

*; 0.4 이상이면 양성

표 8. 계절별 밀도별 육성돈 PRRS 호흡기 항체가 검사결과

Season	Treatment		1	2	평균	결과값	판정*
Spring	저밀도	육성1	0.115	0.133	0.12	0.1358	N
		육성2	0.092	0.127	0.11	0.0576	N
		육성3	0.131	0.188	0.16	0.0339	N
		육성4	0.144	0.079	0.11	0.0614	N
		육성5	0.126	0.129	0.13	0.1522	N
	중밀도	육성1	0.174	0.112	0.14	0.1122	N
		육성2	0.102	0.077	0.09	0.1662	N
		육성3	0.168	0.151	0.16	0.1252	N
		육성4	0.111	0.112	0.11	0.1447	N
		육성5	0.153	0.174	0.16	0.0152	N
	고밀도	육성1	0.156	0.163	0.16	0.1139	N
		육성2	0.146	0.113	0.13	0.0124	N
		육성3	0.136	0.077	0.11	0.1158	N
		육성4	0.114	0.098	0.11	0.1511	N
		육성5	0.149	0.114	0.13	0.0292	N
Summer	저밀도	육성1	0.089	0.07	0.08	0.2102	N
		육성2	0.145	0.128	0.14	0.1903	N
		육성3	0.125	0.118	0.12	0.1411	N
		육성4	0.142	0.147	0.14	0.0943	N
		육성5	0.143	0.128	0.14	0.0784	N
	중밀도	육성1	0.152	0.113	0.13	0.0568	N
		육성2	0.155	0.112	0.13	0.0325	N
		육성3	0.138	0.114	0.13	0.0514	N
		육성4	0.125	0.139	0.13	0.0547	N
		육성5	0.132	0.117	0.12	0.0352	N
	고밀도	육성1	0.151	0.088	0.12	0.0248	N
		육성2	0.117	0.079	0.10	0.0289	N
		육성3	0.124	0.099	0.11	0.1520	N
		육성4	0.174	0.112	0.14	0.1114	N
		육성5	0.125	0.087	0.11	0.1488	N
Fall	저밀도	육성1	0.188	0.152	0.17	0.0452	N
		육성2	0.144	0.119	0.13	0.1117	N
		육성3	0.135	0.144	0.14	0.0159	N
		육성4	0.189	0.16	0.17	0.1134	N
		육성5	0.206	0.13	0.17	0.1124	N
	중밀도	육성1	0.203	0.098	0.15	0.1121	N
		육성2	0.149	0.088	0.12	0.1522	N

		육성3	0.119	0.114	0.12	0.1611	N	
		육성4	0.189	0.07	0.13	0.156	N	
		육성5	0.112	0.08	0.10	0.1403	N	
		고밀도	육성1	0.12	0.098	0.11	0.1004	N
			육성2	0.128	0.142	0.14	0.1543	N
	육성3		0.142	0.178	0.16	0.0552	N	
	Winter	저밀도	육성4	0.177	0.138	0.16	0.1152	N
			육성5	0.154	0.112	0.13	0.0848	N
			육성1	0.133	0.154	0.14	0.0256	N
			육성2	0.128	0.13	0.13	0.1521	N
육성3			0.159	0.117	0.14	0.1441	N	
중밀도		육성4	0.174	0.18	0.18	0.124	N	
		육성5	0.188	0.139	0.16	0.0234	N	
		육성1	0.189	0.128	0.16	0.1022	N	
		육성2	0.079	0.169	0.12	0.1245	N	
		육성3	0.121	0.087	0.10	0.1363	N	
고밀도	육성4	0.122	0.144	0.13	0.1152	N		
	육성5	0.144	0.139	0.14	0.1447	N		
	육성1	0.158	0.14	0.15	0.1056	N		
	육성2	0.186	0.163	0.17	0.1134	N		
	육성3	0.124	0.135	0.13	0.1254	N		
		육성4	0.148	0.158	0.15	0.042	N	
		육성5	0.123	0.128	0.13	0.0569	N	

*; 0.4 이상이면 양성

○ 계절별 사육밀도별 이유자돈 세균성 호흡기 질병 항체가를 측정된 결과는 표 9와 같았음.

표 9. 계절별 사육밀도별 이유자돈 세균성 호흡기 질병 항체가 검사결과

Season	Treatment		AR	APP2	APP5
Spring	저밀도	이유1	80	80	160
		이유2	160	80	160
		이유3	80	80	80
		이유4	160	80	80
		이유5	80	40	160
	중밀도	이유1	80	80	160
		이유2	320	40	640
		이유3	80	160	80
		이유4	80	80	160
		이유5	160	80	160
	고밀도	이유1	160	80	80
		이유2	80	160	160
		이유3	160	80	80
		이유4	160	80	160
		이유5	160	160	80
Summer	저밀도	이유1	80	80	320
		이유2	80	80	80
		이유3	80	80	320
		이유4	80	80	80
		이유5	160	80	320
	중밀도	이유1	640	40	80
		이유2	80	80	80

	고밀도	이유3	80	320	640
		이유4	80	80	80
		이유5	160	80	160
		이유1	160	80	80
		이유2	160	80	40
		이유3	80	160	80
		이유4	80	80	320
		이유5	160	40	160
Fall	저밀도	이유1	160	80	80
		이유2	40	80	80
		이유3	80	80	80
		이유4	160	80	320
		이유5	80	80	80
	중밀도	이유1	80	80	320
		이유2	80	80	80
		이유3	160	80	80
		이유4	160	160	640
		이유5	40	80	80
	고밀도	이유1	80	80	160
		이유2	160	160	80
		이유3	80	80	40
		이유4	160	80	80
		이유5	80	80	320
Winter	저밀도	이유1	80	80	160
		이유2	80	80	80
		이유3	160	80	160
		이유4	80	80	160
		이유5	80	80	320
	중밀도	이유1	80	80	80
		이유2	80	160	640
		이유3	160	80	80
		이유4	160	80	160
		이유5	80	80	640
	고밀도	이유1	80	40	80
		이유2	80	80	160
		이유3	40	80	80
		이유4	80	80	160
		이유5	80	160	80

○ 계절별 사육밀도별 이유자돈 및 육성돈의 스트레스 호르몬 (cortisol) 농도를 측정한 결과는 표 10, 11과 같았음.

표 10. 계절별 사육밀도별 이유자돈의 스트레스 호르몬 (cortisol) 농도 검사결과

Season	Treatment		cortisol con. (pg/ml)
Spring	저밀도	이유1	8456.25
		이유2	8427.32
		이유3	8395.63
		이유4	8444.39
		이유5	8474.27
		평균	8,439.57±29.94
	중밀도	이유1	8447.63

		이유2	8445.27
		이유3	8449.17
		이유4	8512.39
		이유5	8388.44
		평균	8,448.58±43.87
		이유1	8459.36
	고밀도	이유2	8494.28
		이유3	8488.65
		이유4	8429.68
		이유5	8469.88
		평균	8,468.37±25.80
Summer	저밀도	이유1	8437.86
		이유2	8391.25
		이유3	8491.02
		이유4	8449.51
		이유5	8455.22
		평균	8,444.97±35.99
	중밀도	이유1	8452.42
		이유2	8472.81
		이유3	8478.64
		이유4	8480.82
		이유5	8371.58
		평균	8,451.25±45.92
	고밀도	이유1	8460.43
		이유2	8492.47
		이유3	8483.01
		이유4	8458.25
		이유5	8493.93
		평균	8,477.62±17.22
Fall	저밀도	이유1	8455.53
		이유2	8498.43
		이유3	8444.31
		이유4	8358.28
		이유5	8473.94
		평균	8,446.10±53.19
	중밀도	이유1	8355.33
		이유2	8482.87
		이유3	8463.63
		이유4	8429.29
		이유5	8482.56
		평균	8,442.74±53.51
	고밀도	이유1	8418.28
		이유2	8369.45
		이유3	8488.39
		이유4	8457.74
		이유5	8453.59
		평균	8,437.49±45.43
Winter	저밀도	이유1	8333.49
		이유2	8411.22
		이유3	8428.75
		이유4	8348.48
		이유5	8477.92
		평균	8,399.97±59.37
	중밀도	이유1	8460.43

		이유2	8492.47
		이유3	8483.01
		이유4	8458.25
		이유5	8493.93
		평균	8,477.62±17.22
	고밀도	이유1	8328.25
		이유2	8447.77
		이유3	8499.48
		이유4	8424.91
		이유5	8474.23
평균	8,434.93±65.87		

표 11. 계절별 사육밀도별 육성돈의 스트레스 호르몬 (cortisol) 농도 검사결과

Season	Treatment		cortisol con. (pg/ml)
Spring	저밀도	육성1	8455.22
		육성2	8478.31
		육성3	8433.17
		육성4	8458.12
		육성5	8437.44
		평균	8,452.45±18.06
	중밀도	육성1	8418.87
		육성2	8427.89
		육성3	8441.57
		육성4	8463.48
		육성5	8471.21
		평균	8,444.60±22.44
	고밀도	육성1	8369.33
		육성2	8509.52
		육성3	8519.78
육성4		8487.93	
육성5		8498.29	
평균	8,476.97±61.34		
Summer	저밀도	육성1	8324.98
		육성2	8463.34
		육성3	8415.28
		육성4	8469.17
		육성5	8409.45
		평균	8,416.44±57.86
	중밀도	육성1	8447.99
		육성2	8489.27
		육성3	8453.33
		육성4	8446.29
		육성5	8444.28
		평균	8,456.23±18.77
	고밀도	육성1	8480.57
		육성2	8492.81
		육성3	8424.02
육성4		8492.62	
육성5		8453.88	
평균	8,468.78±29.62		
Fall	저밀도	육성1	8482.24
		육성2	8425.55

		육성3	8478.78
		육성4	8444.46
		육성5	8426.09
		평균	8,451.42±27.64
	중밀도	육성1	8433.21
		육성2	8497.40
		육성3	8490.38
		육성4	8488.59
		육성5	8448.51
		평균	8,471.62±28.78
	고밀도	육성1	8487.55
		육성2	8484.41
		육성3	8438.76
		육성4	8490.54
		육성5	8476.25
평균		8,475.50±21.22	
Winter	저밀도	육성1	8431.96
		육성2	8409.81
		육성3	8349.73
		육성4	8401.71
		육성5	8411.22
		평균	8,400.89±30.69
	중밀도	육성1	8449.33
		육성2	8486.39
		육성3	8433.57
		육성4	8424.46
		육성5	8452.11
	평균	8,449.17±23.70	
	고밀도	육성1	8482.24
		육성2	8505.08
		육성3	8457.76
육성4		8498.46	
육성5		8496.28	
평균	8,487.96±18.82		

○ 계절별 시설별 이유자돈 방과 육성돈 방의 낙하세균 검사결과는 표 12, 13과 같았음.

표 12. 계절별 사육밀도별 이유자돈 방의 낙하세균 검사결과

Season	Treatment		CFU
Spring	저밀도	이유돈방L-1	259
		이유돈방L-2	235
		이유돈방L-3	307
		이유돈방L-4	182
		이유돈방L-5	229
		평균	242.40±45.63
	중밀도	이유돈방M-1	233
		이유돈방M-2	265
		이유돈방M-3	271

		이유돈방M-4	204
		이유돈방M-5	219
		평균	238.40±28.97
	고밀도	이유돈방H-1	320
		이유돈방H-2	198
		이유돈방H-3	245
		이유돈방H-4	206
이유돈방H-5		241	
평균	242.00±48.28		
Summer	저밀도	이유돈방L-1	108
		이유돈방L-2	95
		이유돈방L-3	120
		이유돈방L-4	122
		이유돈방L-5	109
		평균	110.80±10.84
	중밀도	이유돈방M-1	85
		이유돈방M-2	120
		이유돈방M-3	133
		이유돈방M-4	152
		이유돈방M-5	104
		평균	118.80±25.82
	고밀도	이유돈방H-1	102
		이유돈방H-2	130
		이유돈방H-3	91
		이유돈방H-4	89
		이유돈방H-5	134
		평균	109.20±21.44
Fall	저밀도	이유돈방L-1	169
		이유돈방L-2	220
		이유돈방L-3	241
		이유돈방L-4	204
		이유돈방L-5	224
		평균	211.60±27.20
	중밀도	이유돈방M-1	159
		이유돈방M-2	227
		이유돈방M-3	196
		이유돈방M-4	213
		이유돈방M-5	229
		평균	204.80±28.81
	고밀도	이유돈방H-1	215
		이유돈방H-2	183
		이유돈방H-3	196
		이유돈방H-4	207
		이유돈방H-5	197
		평균	199.60±12.11
Winter	저밀도	이유돈방L-1	265
		이유돈방L-2	174
		이유돈방L-3	185
		이유돈방L-4	199
		이유돈방L-5	206
		평균	205.80±35.33
	중밀도	이유돈방M-1	185
		이유돈방M-2	196

		이유돈방M-3	167
		이유돈방M-4	219
		이유돈방M-5	220
		평균	197.40±22.67
	고밀도	이유돈방H-1	213
		이유돈방H-2	201
		이유돈방H-3	135
		이유돈방H-4	169
		이유돈방H-5	231
		평균	189.80±38.06

표 13. 계절별 사육밀도별 육성돈 방의 낙하세균 검사결과

Season	Treatment		CFU
Spring	저밀도	육성돈방L-1	274
		육성돈방L-2	239
		육성돈방L-3	311
		육성돈방L-4	251
		육성돈방L-5	207
		평균	256.40±38.93
	중밀도	육성돈방M-1	299
		육성돈방M-2	301
		육성돈방M-3	254
		육성돈방M-4	327
		육성돈방M-5	359
		평균	308.00±38.75
	고밀도	육성돈방H-1	277
		육성돈방H-2	304
		육성돈방H-3	263
육성돈방H-4		296	
육성돈방H-5		321	
평균		292.20±22.73	
Summer	저밀도	육성돈방L-1	101
		육성돈방L-2	245
		육성돈방L-3	113
		육성돈방L-4	86
		육성돈방L-5	143
		평균	137.60±63.58
	중밀도	육성돈방M-1	160
		육성돈방M-2	69
		육성돈방M-3	113
		육성돈방M-4	156
		육성돈방M-5	107
		평균	121.00±37.78
	고밀도	육성돈방H-1	104
		육성돈방H-2	89
		육성돈방H-3	153
육성돈방H-4		96	
육성돈방H-5		123	
평균		113.00±25.71	
Fall	저밀도	육성돈방L-1	224
		육성돈방L-2	242

		육성돈방L-3	229
		육성돈방L-4	297
		육성돈방L-5	206
		평균	239.60±34.58
	중밀도	육성돈방M-1	314
		육성돈방M-2	310
		육성돈방M-3	265
		육성돈방M-4	217
		육성돈방M-5	195
		평균	260.20±53.65
	고밀도	육성돈방H-1	326
		육성돈방H-2	185
		육성돈방H-3	220
		육성돈방H-4	241
		육성돈방H-5	307
평균		255.80±59.29	
Winter	저밀도	육성돈방L-1	156
		육성돈방L-2	198
		육성돈방L-3	301
		육성돈방L-4	221
		육성돈방L-5	150
		평균	205.20±61.12
	중밀도	육성돈방M-1	321
		육성돈방M-2	195
		육성돈방M-3	225
		육성돈방M-4	159
		육성돈방M-5	264
		평균	232.80±79.62
	고밀도	육성돈방H-1	261
		육성돈방H-2	147
		육성돈방H-3	301
		육성돈방H-4	168
		육성돈방H-5	227
		평균	220.80±63.78

다. 결론

- 겨울과 봄에 비하여 여름에 이유자돈사와 육성돈사 내부의 온도와 상대습도가 높았으며, 이것이 더위 스트레스를 유발시켜 이유자돈과 육성돈의 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.
- 이유자돈과 육성돈은 계절에 상관없이 사육밀도가 높아짐에 따라 편안하게 쉬는 행동이나 먹는 행동을 덜 나타내었다. 이것이 결과적으로 이유자돈과 육성돈의 생산성에 악영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.
- 이유자돈과 육성돈은 계절에 상관없이 사육밀도가 높아짐에 따라 종료체중과 일당증체량이 줄어드는 결과를 나타내었다($p < 0.05$). 따라서 이유자돈과 육성돈의 경우 적정밀도로 사육하는 것이 중요하며, 특히 여름에는 더위 스트레스를 고려하여 사육밀도를 낮춰 사육하는 방안을 고려해볼 필요가 있는 것으로 판단되었다.
- 본 과제에서 평가를 수행한 농장은 PRRS 질병의 경우 백신을 수행하고 있지 않은 음성 농장으로 이유자돈, 육성돈 모두에서 PRRS 음성 결과가 나왔음.
- 세균성 호흡기 질병 항체가의 경우 본 농장은 AR과 APP2 및 APP5 접종을 수행하고 있으며, AR의 경우 모돈에 백신을 수행하고 을 접종하고 있고, APP2 및 APP5 sms 생후 4주령에 접종을 수행하고 있음. 백신 항체가를 측정해본 결과 80-160 정도의 양호한 방어항체가가 유지되고 있었으며, 밀도별 항체가의 차이는 보이지 않음.
- 이유자돈 및 육성돈 스트레스 호르몬 농도 측정 결과 이유자돈의 경우 계절별/사육 밀도별 큰 차이를 보이지 않음. 다만, 하절기의 경우 고밀도 사육 군에서 저밀도 및 중밀도 보다 약간 높은 수치의 스트레스 호르몬 농도가 증가하는 것이 확인 되었으나, 통계적인 유의성은 인정되지 않았음. 육성돈의 경우 계절별/사육밀도별 모두에서 저밀도에 비해 중밀도가 약간 높았고, 고밀도에서는 저밀도 및 중밀도보다 높은 스트레스 호르몬 농도를 보임. 그러나 통계적인 유의성은 인정되지 않음.
- 낙하세균의 측정 결과 돈사가 동일한 조건에서 시험을 수행하여, 계절별/사육밀도별 낙하세균의 변화는 확인 되지 않음.
- 종합적으로 평가해 볼 때 이유자돈과 육성돈의 경우 저밀도에 비해 고밀도에서 스트레스 호르몬 농도가 높은 것으로 나타났지만, 통계적인 유의성은 인정되지 않았고, 계절별 스트레스 호르몬의 농도는 큰 차이를 보이지 않아 돼지의 스트레스 인자는 사육밀도에 높은 영향을 받는 것으로 나타남.

5. 종합결론

- 모돈의 군사사육 (전자식 모돈 급여시스템, 숄더 사육 시스템)이 스트레스 저감에 효과가 있고 이를 통하여 모돈의 도태율이 감소되어 자돈생산두수를 향상시켜 결과적으로 경제성을 향상시키는 결과를 나타내었다.
- 군사사육중 섬유소의 추가적인 급여가 모돈의 스트레스 저감에 효능을 나타내었으나 모돈의 번식성적에는 영향을 미치지 않았다.
- 태양열 및 지열 난방 돈사 이용시 자돈의 생산성 및 경제성을 향상시키고 전기사용료와 돈사내 CO2 발생량을 저감시켜주는 효과를 나타내었고 복합적으로 이용시 단일 이용보다 높은 효과를 나타내었다.
- 연구를 통하여 악취분해 역할의 미생물이 대부분 heterotrophs 라는 점을 평가하였고 이를 이용한 바이오필터 패드를 적용시 악취화합물을 15~98% (악취분해 박테리아 집단의 시간별 변동에 의한 차이) 저감하는 효과를 나타내었다.
- 또한 임신사의 사육시설 (스톨 vs. shoulder length barrier)과 암모니아의 농도가 모돈의 번식성적에 영향을 미치지 않고, 돼지의 사육밀도가 증가할수록 생산성이 감소하는 결과를 나타내었다.
- 따라서, 모돈의 군사사육을 통하여 스트레스를 저감하여 연산성을 향상시키고 태양열 및 지열 난방과 바이오필터 패드를 이용한 악취저감, 그리고 적절한 사육밀도를 통하여 양돈 생산성을 극대화한 동물복지와 환경제어를 고려한 차세대 돈사 모델 및 모돈 사육시스템이 필요하다.
- 그러나, 국내에서 이러한 동물복지와 환경제어를 고려한 차세대 돈사 모델 및 모돈 사육시스템에 대한 종합적인 연구는 아직까지 이루어지지 않았고, 개별적인 연구 또한 많은 연구가 이루어지지 않아 아직 개발초기단계로 기술이전, 제품개발 및 현장보급 등과 같은 상업적인 적용을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2013)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	사육형태별 번식생산성 비교 평가	100	스톨, 군사, 솔더 사육시스템의 번식생산성 비교평가
		임신단계 적용 사양시스템에 의한 생산성 규명	100	임신단계에서 섬유소원료의 추 가급여에 따른 모돈 및 자돈의 생산성 평가
	<제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발	사양관리 조건 탐색	100	가축의 최적 사양관리 조건 탐 색 관행축사의 전기 사용량 및 이 산화탄소 발생량 조사
		태양열을 활용한 돈사 모델 구축	100	양돈장 규모별 최적 설비 조건 탐색
		태양열을 활용한 최적 운영 방안에 대한 연구	100	태양열 발생 에너지의 최적 운 영방안에 대한 연구
	<제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	우리나라 돈사유형별, 성장단 계별 돈사의 악취 및 온실가 스 특성 분석 (GC-MS) 및 이의 분류화	80	돈사형태별, 성장단계별 악취 및 온실가스 성분분석
		실용적 pilot악취저감시스템- 연계 환기시스템 설계 및 설 비	100	우리나라 특성적 돈사의 온실가 스 및 악취가스 에 근거한 실용 적(SEC) 악취저감시스템-연계 환기시스템 개념개발, 설계, 설 비
		GHOG 감응관리시스템 구축	50	실용적 GHOG 감응센서 탐색 및 실시간 data logging시스템 구축
	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	사육시설과 암모니아 가스 농도가 분만모돈(수유모돈)의 복지에 미치는 영향 규명	100	시설간 환경 측정 평가 분석
			100	시설간 분만모돈 생산성 비교 평가
			100	분만모돈의 복지를 위한 걱정 호르몬 농도 제시
			100	돼지 생식기 호흡기 증후군 질 병 양상을 ELISA 항원 항체 반 응을 통해 비교, 분석
100			복지형 사육시설 제시	
100			복지형 사양관방법(환경기준) 제시	

2차 년도 (2014)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	○ 스톨 vs RFID 군사시스 템 vs Shoulder 사육시스템 번식생산성 비교평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	스톨, 군사, 숄더 사육을 통하여 연산성의 비교평가
		○ 임신단계에서 섬유소 추 가 급여에 따른 번식생산성 평가 (3년간 6산 이상 평가)	100	임신단계 섬유소 추가급여를 통 한 연산성의 비교평가
	<제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발	지열을 활용한 돈사 모델 구 축	100	업체조사 및 가격 조사 양돈장 규모별 시설 구축비 및 예상 효율 조사 모델 구축을 통한 운영 효과 조 사
		지열 돈사 작동시스템 연구	100	지열돈사의 온도유지 작동 시스 템 연구
		지열을 활용한 최적 운영방 안에 대한 연구	100	지열 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구
		동물복지농장에 대한 조사	100	동물복지 농장의 전기사용량 조 사 신재생에너지에 대한 의견 조사
	<제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	실용적 환기시스템-GHOG 저감시스템 통합적 유체동력 학적 검증	100	실내환기시스템- pilot GHOG시 스템의 작동시 유체동역학적 효 율분석여부 - 틸면적/전면적<10%; 정압 :10~30Pa유지
		악취 및 온실가스저감을 위 한 복합미생물군(MM)의 개 발 및 MM접종 바이오필터 장착 악취제거 시스템 개발	100	악취 및 온실가스저감을 위한 복합미생물군(MM)의 개발 및 전해수제조
			100	미생물 접종 바이오필터를 이용 한 악취제거 시스템 개발여부 - GHOG삭감효율을 만족하면 서 소요환기율을 유지할 수 있 는지? 평가
			100	개발미생물/전해수 in-lab biofilter 접종 및 이의 삭감효율 정량화 - NH3<3ppm, H2S<20ppb, CO2<3000ppm
		GHOG 저감을 위한 filter pad에 전해수(電解水) 적용	100	악취 및 온실가스저감을 위한 전해수(電解水) 제조 및 특성분

		및 이의 효율분석		석여부 전해수 biofilter pad접종 및 이 의 악취 삭감효율 악취농도 만 족여부 - NH3<3ppm, H2S<20ppb, CO2<3000ppm
	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	사육시설과 암모니아 가스 농도가 임신돈의 복지에 미 치는 영향 규명	100	시설간 환경 측정 평가 분석
			100	시설간 임신돈 생산성 비교 평 가
			0	임신돈의 복지를 위한 적정 호 르몬 농도 제시(농장주가 유사 산을 우려하여 채혈을 강하게 반대하여 채혈을 하지 못함)
			100	복지형 사육시설 제시
			100	복지형 사양관방법(환경기준) 제시
3차 년도 (2015)	<제1세부과제> 동물복지법에 적합한 한국형 동물복지 모돈 사양시스템 구축 및 개발	스톨 vs RFID 군사시스템 vs Shoulder 사육시스템 번 식생산성 비교평가 (3년간 6 산 이상 평가)	100	스톨, 군사, 솔더 사육을 통하여 연산성의 비교평가
		임신단계에서 섬유소 추가 급여에 따른 번식생산성 평 가 (3년간 6산 이상 평가)	100	임신단계 섬유소 추가급여를 통 한 연산성의 비교평가
	<제1협동과제> 에너지 저감형 돈사 모델 개발	지열을 활용한 돈사 모델 구 축	100	업체조사 및 가격 조사 양돈장 규모별 시설 구축비 및 예상 효율 조사 모델 구축을 통한 운영 효과 조 사
		지열 돈사 작동시스템 연구	100	지열돈사의 온도유지 작동 시스 템 연구
		지열을 활용한 최적 운영방 안에 대한 연구	100	지열 에너지의 최적 운영방안에 대한 연구
		동물복지농장에 대한 조사	100	동물복지 농장의 전기사용량 조 사 신재생에너지에 대한 의견 조사
	<제2협동과제> 온실가스 및 악취저감을 통한 환경 친화적 돈사모델 개발	GHOG저감 시스템 효율분석 결과 최적시스템 정립	100	이의 경시적 GHOG 저감 효율 분석 GHOG 화합물 9종 기준농도 만 족여부 돈사내·외 GHOG를 대변할 수 있는 지표개발 및 GHOG 9종과 의 상관성 분석

		공기질, 생산성, 돼지 스트레스와의 상관성 분석	100	요인 간 상관성 분석 질병, 생산성, 미세먼지, 악취, 동물행동 돼지의 스트레스 홀몬과 면역력
		□ GHOG 저감 시스템 표준화	100	GHOG 저감시설의 현장적용
	<제3협동과제> 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발	○ 사육밀도와 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성비육돈의 복지에 미치는 영향 규명	100	사육밀도와 암모니아 가스 농도가 이유자돈과 육성비육돈의 복지에 미치는 영향 규명

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 제 1 세부

- 축산선진국인 유럽연합에서는 이미 모든의 복지를 위하여 2013년 1월 1일부터 스톨사육을 규제하고 있고 또한 매스미디어의 발달로 인하여 사람들이 보다 안전하고 건강한 축산물의 소비를 요구함에 따라 국내에서도 농림축산검역본부에서 동물복지 축산물인증을 통한 동물보호 관리 시스템을 시행하고 있다.
- 그러나 국내 양돈 산업의 규모는 1000두 이하로 사육하는 소형 농가가 약 70%에 달하여 기존에 운영되고 있는 전자식 모돈 급이기는 높은 설치비용과 면적 그리고 향후 유지보수와 지속적인 관리가 필요하기 때문에 소형 양돈 농장으로는 기피하고 있는 실정이다.
- (제품화 가능성) 본 연구를 통하여 개발된 솔더 시스템 (Shoulder system)은 모든의 경제적인 수명을 기존 스톨과 비교하여 약 1.4배 향상시켜주고 군사사육의 장점을 통하여 모든의 스트레스를 절감시켜주며, 자돈의 생산성을 개선시켜줌으로서 농가에 경제적 이익향상에 기여한다.
- (기술실시 가능성) 축산 선진국인 나라들에서는 국내와는 달리 넓은 국토면적을 최대한 이용함으로써 군사사육을 오래전부터 시행하였고 대부분 전자식 모돈 급이기를 이용하여 군사사육을 진행하기 때문에 기술실시에 어려움이 있다. 그러나 국내 소형 농장을 포함한 중국, 필리핀, 베트남 등에서는 아직까지 동물복지 사육이 제대로 개발되어 있지 않아 본 과제에서 개발된 솔더 시스템의 적응기간이 필요없고 저가격과 간단한 유지 및 보수력을 이점으로 보급할 계획이다.
- (실시 기술의 시장성 및 사업성) 일반적으로 전자식 모돈 급이기는 1대 설치당 100~150만 정도의 비용이 들어가고 관리 수준에 따라 연간 30~150만 그 이상의 비용이 들어가게 된다. 그러나 솔더 시스템은 급이기 1대당 약 10만원의 비용이 들어가고 설치농장의 두수와 면적을 고려하여 설치가 가능하다. 또한 설치 이후에는 거의 반영구적으로 사용 가능하여 유지와 보수에 대한 걱정의 문제가 없다. 앞으로도 소비자의 동물복지에 대한 요구는 점차 증가할 것이고 유럽과 마찬가지로 스톨사육을 금지할 가능성 또한 배재할 수 없는

현실이다. 그러나 이미 많은 검증을 거친 전자식 모돈 급이기와는 다르게 아직까지 솔더시스템은 많은 연구가 이루어지지 않아 성급하게 보급하기에는 어려움이 있다. 따라서 보다 많은 연구를 통하여 신뢰성 있는 데이터 베이스를 구축함으로써 차세대 국내 모돈 복지사육을 이끌어 갈 수 있는 제품의 개발과 보급이 필요하다.

2. 제 1 협동

가. 축산분야에 신재생에너지 (태양열, 지열)시스템 적용 가능성

- 축산분야에서 특히 밀폐시키는 환경에서는 신재생에너지시스템 적용이 가능성을 확인함
- 기존의 태양열시스템을 돈사 지붕위에 설치함으로써 가용면적이 필요한 태양열시스템의 단점을 극복하여 적용함
- 태양열난방시스템을 연구원들이 직접 설치함으로써 태양열난방시스템은 농장에서 설치할 수 있는 가능성 확인
- 지열냉·난방은 지하 150m 천공을 해야하는 상황으로 전문업체에서 설치해야하지만 편의성 부분에서는 효과적임
- 태양열난방돈사와 지열난방돈사의 경우 기존 전열기방식의 돈사에서의 사육보다 생산성이 10% 향상되는 결과를 달성
- 태양열시스템과 지열난방시스템을 활용시 전기에너지 사용량을 기존 대비 20~50% 이상 절감시킬수 있음
- 태양열난방돈사와 지열난방돈사와 관행방식의 돈사와 비교시 악취가스가 감소하는 경향을 보여 돈사내부의 환경개선의 가능성을 보여줌

나. 축산분야에서 기술실시의 가능성

- 태양열난방시스템과 지열난방시스템 설치시 비용이 많이 소요되는 문제가 발생되어 농가에서 선호하지 않아 당장 기술실시에는 어려움이 있을것으로 판단됨
- 태양열난방시스템과 지열난방시스템 설치시 주택용에는 보조금을 지급하고 있지만, 축산용은 따로 구분되어있지 않아 현재 상황으로는 판매에 어려움이 있을것으로 판단됨
- 농업용으로 보조금이 지급이 된다면, 양돈분야에서는 태양열난방시스템과 지열난방시스템을 설치가능성이 높아짐
- 계속적으로 겨울철 기온이 낮아지는 현상과 여름철 기온이 높아지는 현상이 발생한다면 전기사용량은 기하급수적으로 증가할 것으로 추정되며, 이를 대체하고자 하는 상황이 나올것이라고 추정됨

다. 실시 기술의 시장성 및 사업성

- 본 연구팀은 신재생에너지시스템을 주택용 및 건물용 뿐만 아니라 축산분야에도 도입하여 신재생에너지산업의 영역을 축산분야에도 적용가능하다고 판단되며, 축산분야로 확대가 된다면 신재생에너지의 시장은 더 넓어질 것으로 판단됨
- 주택용 및 건물용에만 지원하는 신재생에너지보조금을 축산분야에도 확대 또는 축사현대화 자금 등 각종 지원사업이 확대된다면 사업성은 충분히 있다고 판단됨
- 농장대표들은 농장에 새로운 변화 또는 노후화된 농장에 투자하기를 꺼려하는 부분이 있어 사업초기에는 어려움이 있을 것으로 판단됨

3. 제 2 협동

- (제품화 가능성) 지역의 민원대상인 GHOG의 획기적 농도저감으로 축산에 대한 적대적 감정해소에 반드시 필요한 기술이며 우리나라 농업생산의 40% 이상을 점하는 부가가치적 축산을 '유해적' → '무해적'으로 전환함으로써 지속축산 기반마련의 계기가 될 것임.
- (기술실시 가능성) 미생물 접종 바이오필터를 이용한 환기 시스템의 국·내외 시장분석 결과 일본을 제외한 아시아에서는 이 시스템을 운영중인 농가가 없고, 덴마크와 네덜란드의 제품은 높은 가격과 전 재료를 수입해야하는 번거로움으로 우리나라와 아시아 개발도상국에서는 실용화가 어려움. 본 제안과제에서 개발된 악취 및 온실가스 저감 바이오필터를 현재 판매되고 있는 유럽 상품 대비 저가격, 고성능의 이점으로 국내·외에 판매할 계획임.
- (실시 기술의 시장성 및 사업성) 본 연구팀의 개발기술인 생물학적 처리방법 중 하나인 바이오필터의 초기시설비, 설치비, 운영비 등은 종류에 따라 다르게 책정될 수 있음. 초기시설비는 팬, 미디어, 환기구, 합관 등의 재료비로 구성되고 설치비는 인건비, 장비대여비가 해당함. 바이오필터의 연간 수지유리비는 1만원~2.2만원/CMM이며 이는 전력비, 미디어 교체비용 포함한 비용임 (2~3년 주기로 교체, 돼지 사육두수, 사료급여방법, 분뇨관리에 따라 교체시기 상이함). 환경부의 '악취방지법', '축종별 축사의 거리제한' 권고안에 대한 과학적 검증을 거쳐 축산정책적 대안확보 양돈장의 환경성과 생산성이 담보된 융복합 미래양돈장 모델을 축산현장에 확산·적용함으로써 지역정주 환경 청정화 기여 양돈장의 환경수준을 객관적으로 정량화할 수 있으므로 축산현대화자금 등 각종 사업지원시 기준으로 활용함으로써 우리나라 축산의 생산성과 청정성을 선진수준으로 격상시킬 수 있는 기회로 삼을 수 있음. 단, 우리 나라의 양돈 산업은 아직까지 시기적으로나 제도적으로나 본 연구개발의 상품에 투자할 여건이 불확실한 것으로 판단됨. 양돈에서 발생하는 악취는 여전히 주변 정주민들에게 민원의 대상으로 제기되고 있고 구제역 등 국가지정 질병이 만연하는 시기임. 정부는 문제해결을 위한 농가지원보다는 제도적 규제에 더욱 초점을 맞추고 있어 현 단계에서의 연구개발 상품의 기업화는 실질적으로 어려움이 따를 것으로 예상됨.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

가. 기술적 성과

- 국내 중·소형 농가에 적합한 동물복지 사육 시스템의 개발을 위하여 본 연구실에서는 설치면적이 적고 그 비용이 저렴한 솔더 시스템을 개발하였고 스톨, 전자식 모돈 급이기와 비교평가를 진행함으로써 솔더 시스템을 통하여 군사 사육이 가능한 것을 검증하였고 또한 군사 사육시 섬유소의 추가적인 급여를 통하여 모돈의 스트레스를 최소화하고 경제적 수명을 향상시키는 기술을 개발하게 됨.
- 에너지 저감형 돈사 모델 개발을 위하여 태양열난방시스템과 지열냉·난방시스템을 활용하였음
- 태양열시스템과 지열냉·난방시스템을 활용하여 돈사 내부의 온도를 제어할 수 있는 기술력과 돈사 내부의 환경을 개선시키는 기술력을 보유하게 됨
- 태양열시스템의 경우 외부 날씨의 영향을 많이 받아 취약한 점이 있지만, 일반적인 날씨상황을 고려하면 에너지 절감효과를 확인함
- 지열냉·난방시스템은 태양열시스템과 달리 외부 날씨의 영향을 미치지 않으며, 1년 사계절 내내 일정한 온도를 유지하면서 에너지 절감효과를 확인함
- 악취 및 온실가스저감을 위한 복합미생물군의 개발 및 미생물 집종 바이오필터장착 악취제거 시스템 개발제시를 위한 미생물은 본 연구실의 육성비육돈사에서 동정한 micro flora를 사용하였음. 돈사관리자가 적절한 바이오필터 환경(내부온도, 유량, 습도, 순환수 pH)만 조성해 준다면 손쉽게 이러한 미생물 군단을 형성할 수 있어 높은 가격의 덴마크와 네덜란드 제품 전 재료를 수입해야하는 번거로움으로 벗어날 수 있는 기술력을 보유하게 됨.
- 임신돈사에서 임신 중에 개별 스톨 시설보다는 Shoulder length barrier 시설에서 사육하는 것이 좋은 것으로 나타남.
- 임신사의 사육 시설이 분만모돈의 생산성에 영향을 미치지 않음.
- 이유자돈과 육성돈의 경우 적정밀도로 사육하는 것이 중요하며, 특히 여름에는 더위 스트레스를 고려하여 사육밀도를 낮춰 사육하는 방안을 고려해볼 필요가 있음.

나. 과학적 성과

- 특허 실적

구분	특허명	특허번호	성과자	성과일	비고
1	옥수수 발효물을 포함하는 육성돈 사료 조성물, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 돼지의 사육 방법	10-2013-0168680	김인호	2013.12	출원
2	옥수수 발효물을 포함하는 육성돈 사료 조성물, 이의 제조 방법 및	10-1578981	김인호	2015.12	등록

	이를 이용한 폐지의 사육 방법				
3	돈슬러리의 지하 혐기발효공정을 포함한 돈사 시스템	10-1253444	최홍림	2013.04	등록
4	유기물 혐/호기퇴비화를 위한 스크류 교반장치	10-1289663	최홍림	2013.07	등록
5	트렌치 타입의 악취정화장치	10-1289936	최홍림	2013.07	등록
6	에너지 중립형 무취-지하 축사시스템	10-2012-0114179	최홍림	2014.04	등록
7	고상 혐기발효 퇴비화 장치	10-2012-0114172	최홍림	2014.04	등록
8	융복합 축산시스템	10-2013-0035347	최홍림	2013.04	출원
9	융복합 축산시스템	10-2013-0035347	최홍림	2014.06	등록
10	태양열을 이용한 돈사 난방 시스템	10-2014-0054158	양철주	2014.02	출원
11	태양열을 이용한 돈사 난방 시스템	10-2014-0054158	양철주	2015.11	등록
12	축사용 환기 장치	10-2015-0073696	장홍희	2015.05	출원
13	축사용 셔터 환기 장치	10-2015-0181150	장홍희	2015.12	출원

■ 논문 게재

구분	논문제목	학회지	볼륨	논문 페이지	성과자	성과일	비고
1	Seasonal Variability in Airborne Biotic Contaminants in Swine Confinement Buildings	PLOS ONE	11	1~9	최홍림	2014.11	SCI
2	Assessment of Bacterial Community Assembly Patterns and Processes in Pig Manure Slurry.	PloS one	10(9)	1~12	최홍림	2015.09	SCI
3	Effect of dietary β -glucan on growth performance, fecal microbial shedding and immunological responses after lipopolysaccharide challenge in weaned pigs	Animal Feed Science and Technology	179	85~92	김인호	2013.01	SCI
4	Prediction of livestock manure and mixture higher heating value based on fundamental analysis	Fuel	116	772~780	최홍림	2013.09	SCI
5	Protected Organic Acid Blends as an Alternative to Antibiotics in Finishing Pigs	Asian-Australian journal of animal sciences	27(11)	1600~1607	김인호	2014.11	SCI
6	한국형 이유자돈사 모델에 관한	농업생명과학	48(5)	73~83	장홍희	2014.09	비SCI

	연구	학연구					
7	임신돈의 사육시설이 분만모돈의 분만성적에 미치는 영향	농업생명과학연구	48(6)	161~167	장홍희	2014.10	비SCI
8	Development of pig welfare assessment protocol integrating animal-, environment-, and management-based measures	Journal of animal science and technology	57	1~11	최홍립	2015.01	비SCI
9	Validation of a simple binary scoring system for assessment of welfare measures of 10-day-old commercial broilers and their correlation with environmental parameters	Journal of animal science and technology	57	1~5	최홍립	2015.03	비SCI
10	Manure removal system influences the abundance and composition of airborne biotic contaminants in swine confinement buildings	Environmental Monitoring and Assessment	187	1~10	최홍립	2015.07	SCI
11	Retrofitting of a pig nursery with solar heating system to evaluate its ability to save energy and reduce environmental pollution	Engineering in Agriculture, Environment and Food	8	235~240	양철주	2015.03	비SCI
12	Evaluation of a ground source geothermal heat pump to save energy and reduce CO2 and noxious gas emissions in a pig house	Energy and Buildings	111	446~456	양철주	2015.12	SCI
13	Effect of Ground Channel Ventilation System on Gaseous Emissions, Air Contaminants, Performance and Behavior of Growing Pigs during Winter Season	Journal of Applied Environmental and Biological Sciences	5(12)	145~156	양철주	2015.10	비SCI
14	Effects of fermented grains as raw cereal substitutes on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, and fecal noxious gas emission in growing pigs	Livestock science	154	131~136	김인호	2013.03	SCI
15	돼지의 사육단계별 폐사율에 영향을 미치는 환경요인에 대한 연구	농업생명과학연구	49(5)	169~177	장홍희	2015.10	비SCI

16	Effects of Dietary Coptis Chinensis Herb Extract on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Characteristics and Meat Quality in Growing-finishing Pigs	Asian-Australian journal of animal sciences	26(1)	108~115	김인호	2013.01	SCI
17	Evaluation of Dietary Hydrolyzed Barley on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Characteristic, and Meat Quality in Finishing Pigs	Journal of Agricultural Science	4(12)	285~293	김인호	2012.12	비SCI

■ 학술대회 발표

구분	학술발표 제목	학회명	발표일	개최장소	성과자
1	Application of Solar Heating System in Pig Nursery for Energy Recovery and Reduction of Green House GsEmission	The 16th AAAP Congress	2014.11	Yogyakarta, INDONESIA	양철주
2	이탈리안글라스의 급여가 모돈의 번식성적에 미치는 영향	미국축산학회	2014.03	미국 아이오와주 디모인	김인호
3	이탈리안글라스의 급여가 2산차 모돈의 번식성적에 미치는 영향	미국축산학회	2014.03	미국 아이오와주 디모인	김인호
4	사육형태가 모돈의 번식성적에 미치는 영향	미국축산학회	2014.03	미국 아이오와주 디모인	김인호
5	사육형태가 2산차 모돈의 번식성적에 미치는 영향	미국축산학회	2014.03	미국 아이오와주 디모인	김인호
6	Monitoring Activity Using Wireless Sensor Network In Experimentally	The 15th AAAP Congress	2014.11	Yogyakarta, INDONESIA	양철주

■ 홍보실적

구분	홍보제목	홍보유형	매체명	홍보일
1	해외 동물복지 성공사례	월간잡지	월간친환경축산	2013.02
2	해외 동물복지 성공사례	월간잡지	월간친환경축산	2013.03

			경축산	
3	해외 동물복지 성공사례	월간잡지	월간친환경축산	2013.04
4	친환경 축산가공품개발, 친환경 인증 축종 확대 등 친환경 축산 범위 확대	월간잡지	미트매거진	2012.12
5	친환경 프리미엄 축산 브랜드 개발로 순천시 발전 이끌 것	월간잡지	코펜 프레지던트	2013.01
6	한국 친환경 축산의 개선방향	월간잡지	월간PIG	2013.02
7	일본의 가축배설물의 자연순환농업 정책	월간잡지	월간친환경축산	2014.09
8	고기 섭취와 인간 기대수명	기타	축산신문	2016.01

다. 경제적 성과

- 국내 농가에서는 일반적으로 모돈의 4산차 이후 경제적 수명이 다하는 것으로 본다. 본 연구를 통하여 군사 사육을 전환 함으로서 4산차 이후 경제적 수명의 증가를 통하여 모돈 두당 자돈 생산두수를 10~20두 증가시킴으로서 약 36~72만원 (1000두 미만 사육규모 농가 비육돈 두당 순수익 : 36,000원, 통계청 2015)의 경제적 이익을 증가시킬 수 있다
- 신재생에너지 (태양열 및 지열)시스템을 설치하는데 비용이 많이 소요되어 가정용 설치시에도 정부보조금이 지급되고 있음
- 신재생에너지시스템을 초기 설치시 설치비용은 많이 소요 되나 운영하면서 유지비는 거의 소요되지 않음
- 태양열난방시스템은 전문업체가 아니더라도 일반사용자도 설치할 수 있어 설치비용을 15% 절감할 수 있음
- 지열냉·난방시스템은 지열히트펌프용량과 돈사규모에 따라 결정되어 비용이 많이 발생할 수 있으나 적정규모의 지열히트펌프를 사용하면 비용을 절감할 수 있음
- 태양열난방과 지열난방시스템을 활용하면 돈사 내부의 환경개선효과가 있어 생산성을 10%이상 향상시키는 효과가 있음
- 돈사악취제거의 일반적 접근으로 악취제거효율이 높은 물리적/화학적 방법이 있지만 수리·유지비가 많이 든다는 단점이 존재함. 대체방법으로 생물학적 처리방법 중 하나인 바이오필터가 제시됨. 바이오필터의 초기시설비, 설치비, 운영비 등은 종류에 따라 다르게 책정될 수 있음.
 - 초기시설비: 팬, 미디어, 환기구, 합판 등의 재료비로 구성
 - 설치비: 인건비, 장비대여비(일반적으로 건물에 환기목적으로 사용되는 수직형 바이오필터 시설 가격은 32만원~42만원/CMM에 해당하며 수직형 바이오필터는 수평형 바이오필터보다 약 1.5배 적은 비용을 차지)
 - 바이오필터의 연간 수지유리비: 1만원~2.2만원/CMM; 전력비, 미디어 교체비용 포함

(2~3년 주기로 교체, 돼지 사육두수, 사료급여방법, 분뇨관리에 따라 교체시기 상이함)

- 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발하고 제안함으로써 앞으로 돼지의 복지 수준을 향상시킬 뿐만 아니라 생산성 향상에도 기여할 것으로 판단됨.

라. 사회적 성과

- 국내 중소 농가에서도 동물복지를 위한 군사사육의 가능성 확대
- 소비자에 동물복지 사육을 통한 건강한 축산물의 공급
- 동물복지 사육을 통한 국가 위신의 향상
- 전기사용량을 감소시킴으로써 국내 전기사용량을 절감시켜 전기생산시 나오는 CO2 배출량을 감소시킬 수 있음
- 전기사용량 감소로서 양돈농가의 생산비를 절감시킬 수 있는 계기를 마련
- 태양열과 지열을 활용함으로써 돈사내부의 환경을 개선시켜 환기량을 줄임으로써 악취가스를 외부에 노출이 적게되어 지역주민간의 민원도 해결할 가능성을 보여줌
- 지역의 민원대상인 획기적 GHOG 농도저감으로 축산에 대한 적대적 감정해소 가능성을 보여줌
- 우리나라 농업생산의 40% 이상을 점하는 부가가치적 축산을 '유해적' → '무해적'으로 전환함으로써 지속축산 기반마련의 계기
- 돼지 복지와 환경인자 간의 상관관계 분석을 통한 복지형 돼지 사육시스템 개발하고 제안함으로써 양돈산업에 대한 이미지를 제고하는 데 기여할 것으로 판단됨

마. 기타 성과

- 강의실적

구분	교육 및 컨설팅명	교육 및 컨설팅 교재명	참석대상	교육기간
1	친환경 축산 방안	친환경 축산 방안	순천대학교 학생	2012.01 ~2012.12
2	친환경 축산 방안	친환경 축산 방안	순천대학교 학생	2013.01 ~2013.12
3	이유자돈의 소화기관 및 면역력 향상을 위한 영양학적 접근에 관한 세미나	한국형 양돈복지 방향과 숙제	축산업계 관계자	2013.03
4	전남 친환경 축산물 활성화 방안	전남 친환경 축산물 활성화 방안	강진군녹색 문화대학교 교육생	2013.04
5	양돈 산업의 새로운 트렌드	한국 양돈 산업의 항생제 대체 급여방안 제시	축산업계 관계자	2013.09
6	Ronozyme HiPhos의 세미나	국내 축산업에서 효소제의 이용	축산업계 관계자	2013.11
7	단위동물의 건강과 생산성 향상 방안 세미나	단위동물 생산성 향상 방안	축산업계 관계자	2013.11
8	2014 친환경축산 위탁교육(양돈)	친환경 축산과 동물복지형 IT첨단 양돈	친환경축산 위탁 교육생	2014.12

9	2014 친환경축산 위탁교육(흑염소)	한중 FTA와 흑염소 산업방향	친환경축산 위탁 교육생	2014.12
10	2015 친환경축산 위탁교육(한우)	FTA대응 친환경 및 동물복지 한우경쟁력 강화	친환경축산 위탁 교육생	2015.12
11	광물질 사료의 영양학적 가치와 방향	양돈생산성을 위한 최근 양돈 사양학 접근 방법 제시	축산업계 관계자	2016.01

제 2 절. 연구개발 성과 활용계획

1. 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등

가. 순천대학교 학생 및 전남마이스터대학 교육생 교육 계획

- 순천대학교 동물자원과학과 전공강의시간에 개발된 시스템에 대한 교육 계획
- 순천대학교 미래전문농업경영인양성사업단 현장실습장소로 활용 계획
- 순천대학교 ICT교육장비로 활용 계획
- 전남마이스터대학 교육생 강의시간에 시스템 운영방법에 대한 교육 계획

2. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

가. 특허 확보계획

- 기 제출된 특허는 변리사와 검토하여 특허등록 유도
- 순천대학교 지식재산권센터를 활용하여 특허출원 계획

나. 논문 게재계획

- 국외 학술지에 리뷰중인 논문을 데이터 추가를 하여 SCI학술지에 게재 계획
- 국외 학술지 (SCI)에 게재예정인 논문들이 게재 완료될 수 있도록 학회지에 빠른 대처

3. 추가연구, 타연구에 활용 계획 등

- 태양열난방시스템을 활용한 결과는 계절별에 따라 다른 결과가 나타나기 때문에 과제 종료후에도 계속적으로 시스템 운영을 통하여 추가 연구 진행
- 지열냉·난방시스템을 활용한 결과는 계절별에 따라 다른 결과가 나타나기 때문에 과제 종료후에도 계속적으로 시스템 운영을 통하여 추가 연구 진행

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

* 해당사항 없음

제 7 장 연구시설·장비 현황

제1절. 연구시설·장비 현황

보유 기관	연구 시설·장비명	규격	수량	용도	활용 용도 및 시기
순천대학교	돈형기	EA	1	실험돈 체중측정	실험돈 체중측정
"	태양열난방시스템	300L	1	태양열 난방	태양열 난방실험
"	지열냉·난방시스템	5RT	1	지열 냉·난방	지열 냉·난방실험

제 8 장 연구실 안전관리 이행실적

◆ 제 1세부

가. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1) 실험실 안전 점검 체계

- 연구실 일상점검 실시 : 연구활동종사자가 육안으로 연구활동 시작전 매일 1회 실시
- 연구실 정기점검 실시 : 외부 전문기관에 의뢰하여 안전점검기기를 이용 매년 1회 실시

실시

○ 연구실 정밀안전진단 실시

- 대상 : 연구개발활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실
- 실시 : 2년마다 1회 실시

2) 연구실안전관리규정 작성 : 2007년 2월 작성하여 연구실안전관리규정 준수

나. 교육 훈련

- 1) 개요 : 연구(실험)실 안전 확보 및 사고예방을 위하여 연구실 법정안전교육
- 2) 교육대상 : 교수, 대학원생(이공계열 전원), 연구원, 학부생 및 연구활동종사자
- 3) 안전교육 과목 및 시간

시 간	과 목	대 상	비 고
1교시	화학·가스 안전	학부생	10:00~12:30
2교시	실험실 장비 및 기구 취급		
3교시	전기안전		
점 심	점 심		
4교시	연구실 안전법	산학협력단, 연구원 대학원생, 학부생	13:30~16:30
5교시	화학·가스안전		
6교시	전기안전		

* 교육 과목은 일부 변경될 수 있음

다. 보험 가입 현황 : 아래 표 내용과 같으며 매년 주관부서에서 갱신

보 험 명	보 상 내 용	대 상	주관부서
플러스연구활동 단체상해보험	상해사망, 후유장해 : 1억원 상해 의료실비 : 1천만원	대학원생, 연구원	대학원교학과, 산학협력단
연구활동종사자 상해보험	상해사망, 후유장해 : 1억원 상해 의료실비 : 1천만원	학부생	학생과
교직원 단체상해보험	상해사망, 후유장해 : 1억원 질병사망, 후유장애 : 3천만원 암, 허혈성심질환, 뇌혈관질환 : 1천만원 입원 의료비 : 1천만원	전임교원, 비전임교원, 정규직원, 조교, 계약직	총무과

* 연구실 안전환경 조성에 관한 법률 시행규칙 제6조에 의거 인건비의 1~2%이하의 금액을 안전관련 예산으로 반영하여야 함

라. 연구활동종사자 건강검진 실시 : 인체에 치명적인 위험물질 및 바이러스 등에 노출될 위험성이 있는 연구활동종사자(단국대는 연구과제를 수행하는 연구활동종사자)에 대하여 정기적으로 매년 건강검진 실시(단국대병원에서 검진)

마. 추가 이행

- 1) 연구실환경개선공사 : 매년 연구실 정기점검결과를 근거로 하여 지적된 연구실의 문제점을 보완하기위하여 지속적인 연구실환경개선공사를 실시하여 연구실의 안전확보에 만전을 기하고 있음
- 2) 실험실 폐기물처리 : 폐기물 창고에 보관 후 외부 처리업체에 위탁처리

◆ 제 1 협동

1. 연구실내 응급구급약을 비치하며, 연구수행 시 발생할 수 있는 사고에 대한 연락망을 작성하여 비치함
2. 학생연구원들의 경우 학교경영자배상책임보험이 적용되어 연구수행 시 발생할 수 있는 안전사고에 대해 전액 배상조치가 가능하도록 함
3. 실험이 이루어지는 연구실은 순천대학교 연구실 안전관리시스템에서 일상점검관리를 매일 실시하고 있으며, 참여연구원에 대한 안전교육을 주 1회 실시
4. 순천대학교 연구실안전관리시스템을 통해 연 2회 (상반기, 하반기) 사이버안전교육을 전원 이수하였으며, 이수증을 출력하여 연구실내에 비치함
5. 연구수행에 따른 학생연구원들은 연 1회 무료건강검진 실시 (매년 11월 실시)

연구실 관리

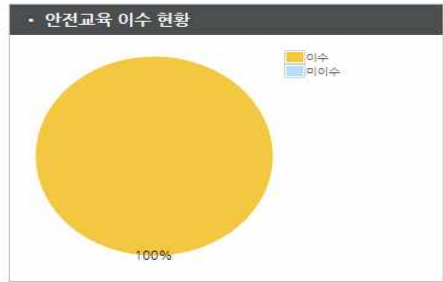
- 일상점검 하기
- 화학약품 관리
- 현황판 출력
- 배지도 관리

종합현황판 >

- 연구실 관리
- 안전교육 관리
- 일상점검 관리
- 정기/정밀안전진단 관리
- 화학물질 관리
- 폐기물 관리
- 건강검진 관리
- 방사성동위원소 관리

종합현황(생명산업과학대학 1호관>동물영양사료실험실)

연구실명	동물영양사료실험실	연구실코드	36
연구실소속	생명산업과학대학>동물자원과학과	연구실분류	생명·생물
건물명	생명산업과학대학 1호관	실번호	211
연구실책임자	양철주	교육이수	총 대상자 11 명 / 이수 11 명 / 미이수 0 명 / 100%
정기점검	미대상	정밀안전	3등급
위험물 보유여부	보유	유해인자 보유현황	보유



연구활동종사자 정보

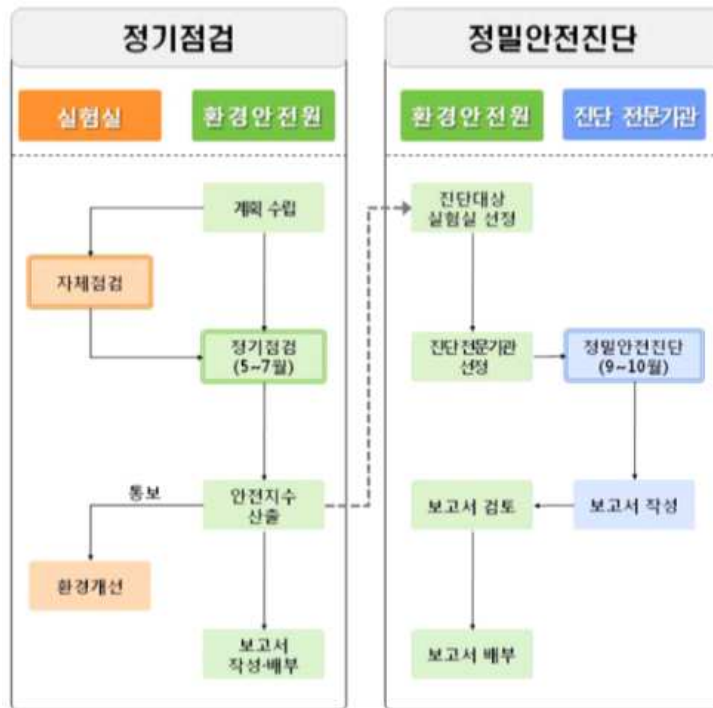
이름	연구(보조)원	대학원생	이수
김효영	연구(보조)원	학부생	이수
문홍석	안전담당자	대학원생	이수
김순섭	연구(보조)원	학부생	이수
허유진	연구(보조)원	학부생	이수
김경일	연구(보조)원	학부생	이수
루바엣 보스 타미	연구(보조)원	대학원생	이수
박영희	연구(보조)원	연구원	이수
양철주	연구실책임자	교수	이수

그림 1. 순천대학교 연구실안전관리시스템

◆ 제 2 협동

가. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

- 연구실 안전점검은 정기점검과 정밀안전진단으로 크게 나뉠 수 있음. 환경안전원에서의 계획수립이 되면 각 실험실은 자체점검을 하여 점검에 대비하고, 환경안전원의 정기점검(5월~7월)을 통하여 안전지수를 산출, 통보되어 환경개선에 반영함.
- 점검 후 실험실에 대한 보고서는 정밀안전진단으로 넘어가 추가적으로 진단대상 실험실 선정을 하게 됨. 이후 진단 전문기관을 선정하여 정밀안전진단(9월~10월)을 실시함.



[그림 21] 연구실 안전점검 흐름도

나. 교육 훈련

1) 정기교육

• 환경안전교육 대상자 등록신청

1996년부터 본격적으로 실시된 환경안전교육은 매년 보완, 발전하여 현재의 교육시스템으로 확립함([그림 22]). 환경안전교육 일정이 공고되면 각 기관의 학부/과별 실험실안전 담당자는 환경안전원 홈페이지의 교육신청란을 통하여 교육대상자 및 제외대상자를 선정하여 정해진 기간 내에 신청 등록함.

• 환경안전교육 대상자 구분

실험실을 출입하는 전체 대학원생(신입생 및 재학생) 및 학부생(신입생 제외), 연구원, 교직원을 대상으로 하며 의무교육과 희망교육 대상자, 교육 제외대상자로 구분됨.



[그림 22] 정기안전교육 시스템

2) 수료증발급

• 매년 2회(2월, 8월) 실시하는 정기 환경안전교육은 2일간(10~12과목)의 교육을 모두 수강하고 평가 시험에 응시하여 일정수준의 점수를 획득하여야 수료증이 발급되도록 함. 이 수료증은 환경안전교육 의무시행에 따라 대학원생 논문자격시험 첨부 자료로 활용됨.



제 9 장 참고문헌

- Barber, E.M., Classen, H., Thacker, P. (1989). Energy use in the production and housing of poultry and swine—an overview. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 7-21.
- Berkan, E., Macit, T., Baris, O., Niyazi, A. (2006). Economic assessment of geothermal district heating systems: A case study of Balçova-Narlıdere, Turkey. *Energy and Buildings*, 38, 1053 - 1059.
- Bose, J.E., Ledbetter, C.W., Partin, J.R. (1979). Experimental results of a low cost solar-assisted heat pump system using earth coil and geo-thermal well storage. In *Proceedings of the Fourth Annual Heat Pump Technology Conference*, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, pp. X-1-X-5.
- Choi, H., Song, J., Na, J., Kim, M., Bang, H., Kang, H., Park, S., Chae, H., Suh, O., Yoo, Y. (2010). Evaluation on cooling effects of geothermal heat pump system in farrowing house, *Journal of Livestock Housing and Environment*, 16, 99-108.
- Chung, Y.-C., C. Huang and C.- P. Tseng (2001). "Biological elimination of H₂S and NH₃ from wastegases by biofilter packed with immobilized heterotrophic bacteria." *Chemosphere*43(8): 1043-1050.
- Charoenvisal, K. (2008). Energy performance and economic evaluations of the geothermal heat pump system used in the knowledge works I and II buildings, (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University), Blacksburg, Virginia.
- Climate, Encyclopædia Britannica Online (2015). Available from: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/121560/climate> Retrieved on 08.06. 2015.
- D. Miller, Designing 'greener' pig barns (VVI), Available at, <http://nationalhogfarmer.com/facilities-equipment/designing-greener-pig-barns-0919>, retrieved on July 23, 2015.
- Dragt, A. and J. van Ham (1992). *Biotechniques for air pollution abatement and odour control policies*, Elsevier.
- E.M. Barber, H. Classen, P. Thacker, Energy use in the production and housing of poultry and swine—an overview, *Can. J. Anim. Sci.* 69 (1989) 7-21.
- E. Pulat, S. Coskun, K. Unlu, N. Yamankaradeniz, Experimental study of horizontal ground source heat pump performance for mild climate in Turkey, *Energy* 34 (2009) 1284-1295.
- E. Hessel, C. Zurhake, H. Van Den Weghe, Heating and cooling performance of an under

floor earth tube air tempering system in a mechanical ventilated farrowing house, in: Proceedings of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), 2010, Québec, Canada.

Ettah, E.B., Obiefuna, J.N., Njar, G.N. (2011). The relationship between solar radiation and the efficiency of solar panels in Port Harcourt, Nigeria. *International Journal of Applied Science and Technology*, 124-126.

E. Koeleman, Geothermal exchange embraced for optimal environment. *Pig progress* 2 (2005) 24-25.

Eisenmenger, M. (2003). Strategies to control enteric pathogens. *National Hog Farmer*. Available from: http://nationalhogfarmer.com/mag/farming_strategies_control_enteric (Published 15.10. 2003).

Hessel, E., Zurhake, C., Van Den Weghe, H. (2010). Heating and cooling performance of an under floor earth tube air tempering system in a mechanical ventilated farrowing house. In Proceedings of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), Québec, Canada, pp.1-8.

Ho, K.-L., Y.-C. Chung, Y.-H. Lin and C.-P. Tseng (2008). "Microbial populations analysis and field application of biofilter for the removal of volatile-sulfur compounds from swine wastewater treatment system." *Journal of Hazardous Materials* 152(2): 580-588.

IEA. (2007). *World energy outlook 2007: China and India insights*. OECD/IEA, France.

Lomans BP, Luderer R, Steenbakkens P, et al. 2001b. Microbial populations involved in cycling of dimethyl sulfide and methanethiol in freshwater sediments. *Appl Environ Microbiol* 67(3):1044-51. Available at: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.67.3.1044-1051.2001>.

Jin, Y., M. C. Veiga and C. Kennes (2007). "Co-treatment of hydrogen sulfide and methanol in a single-stage biotrickling filter under acidic conditions." *Chemosphere* 68(6): 1186-1193.

J.W. Lund, D.H. Freeston, T.L. Boyd, Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review, *Geothermics* 34 (2005) 691-727.

J. Oosthoek, W. Kroodsma, P. Hoeksma, Methods of reducing ammonia emissions from animal housing, in: *Ammoniak in der Umwelt* (J. Hartung, M. Paduch, S. Schirz, H. Döhler, H. van den Weghe, Eds). Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Germany 29 (1990) 1-23.

Kim, J. H., E. R. Rene and H. S. Park (2008). "Biological oxidation of hydrogen sulfide under steady and transient state conditions in an immobilized cell biofilter." *Bioresource technology* 99 (3): 583-588.

Kythreotou, N., Florides, G., Tassou, S.A. (2012). A proposed methodology for the calculation of direct consumption of fossil fuels and electricity for livestock breeding, and its application to Cyprus. *Energy*, 40, 226-235.

Krishnamurthya, P., Banerjee. R. (2012). Energy analysis of solar thermal concentrating systems for power plants, International conference on future electrical power and energy systems. *Lecture Notes in Information Technology*, 9, 509-514.

K. Charoenvisal, Energy Performance and Economic Evaluations of the Geothermal Heat Pump System used in the Knowledge Works I and II Buildings, (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University), Blacksburg, Virginia (2008).

Katkar, A.A., Shinde, N.N., Patil, P.S. (2011). Performance & evaluation of industrial solar cell wrt temperature and humidity. *International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology*, 1, 69-73.

K. Bilen, O. Ozyurt, K. Bakırcı, S. Karşlı, S. Erdogan, M. Yılmaz, O. Comaklı, Energy production, consumption, and environmental pollution for sustainable development: A case study in Turkey, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 12 (2008) 1529-1561.

L.D. Jacobson, D.R. Schmidt, W.F. Lazarus, R. Koehler, Reducing the environmental footprint of pig finishing barns, Available at, http://www.mnpork.com/FileLibrary/States/MN/MPB%20Research/Jacobson_geothermal.pdf, retrieved on Novemer 12, 2014.

Mun, H.S., Ahmed, S.T., Islam, M.M., Park, K.J., Yang, C.J. (2015). Retrofitting of a pig nursery with solar heating system to evaluate its ability to save energy and reduce environmental pollution. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. Doi:10.1016/J.Eaef.2015.02.001

Mårtensson, Lennart, et al. "Air concentrations of volatile organic acids in confined animal buildings - determination with ion chromatography." *Agriculture, ecosystems & environment* 75.1 (1999): 101-108.

Meyer, J., Pride, D., O'Toole, J., Craven, C., Spencer, V. (2011). Ground source heat pumps in cold climates. Alaska Center for Energy and Power, Cold Climate Housing Research Center, Inc, 92. Available at: <http://www.uaf.edu/files/acep/Ground-Source-Heat-Pumps-in-Cold-Climates.pdf> (Retrieved on, 08.06.2015).

Morales, M., S. Hernández, T. Cornabé, S. Revah and R. Auria (2003). "Effect of drying on biofilter performance: modeling and experimental approach." *Environmental science & technology*37(5): 985-992.

N. Kythreotou, G. Florides, S.A. Tassou, A proposed methodology for the calculation of direct consumption of fossil fuels and electricity for livestock breeding, and its application to Cyprus, *Energy* 40 (2012) 226–235.

Ozgener, L. (2011). A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4483–4490.

Ozgener, O., Hepbasli, A. (2006). An economical analysis on a solar greenhouse integrated solar assisted geothermal heat pump system. *Journal of Energy Resources Technology*, 128, 28–34.

Omer, A.M. (2008). Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 344–371.

Otten, L., M. T. Afzal and D. M. Mainville (2004). "Biofiltration of odours: laboratory studies using butyric acid." *Advances in Environmental Research* 8 (3): 397–409.

Pagella, C. and D. De Faveri (2000). "H₂S gas treatment by iron bioprocess." *Chemical Engineering Science* 55(12): 2185–2194.

Rabah, K.V.O. (2005). Integrated solar energy system for rural electrification in Kenya. *Renewable Energy*, 30, 23–42.

Ramirez-Saenz, D., P. Zarate-Segura, C. Guerrero-Barajas and E. García-Peña (2009). "H₂S and volatile fatty acids elimination by biofiltration: clean-up process for biogas potential use." *Journal of hazardous materials* 163(2): 1272–1281.

S.C. Jarvis, B.F. Pain, Ammonia volatilisation from agricultural land, in: *Proceedings of the Fertiliser Society, Greenhill House, Peterborough (U.K.)*, 298 (1990) pp. 35.

Sebarchievici, C., Sarbu, I. (2015). Performance of an experimental ground-coupled heat pump system for heating, cooling and domestic hot-water operation. *Renewable Energy*, 76, 148–159.

Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinos, D., Rybach, L. (2003). Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. *Geothermics*, 32, 579–588.

Shojaosadati, S. A. and S. Elyasi (1999). "Removal of hydrogen sulfide by the compost biofilter with sludge of leather industry." *Resources, conservation and recycling* 27(1): 139–144.

Smet, E., P. Lens and H. V. Langenhove (1998). "Treatment of waste gases contaminated with odorous sulfur compounds." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 28(1): 89–117.

Toxic FAQ Sheet for Ammonia”(PDF). Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). September 2004.

Trier, D. (2012). Different types of collectors, their efficiencies and calculation of energy output is described along with the solar collector fluid properties, Solar district heating guidelines. Factsheet,7.1, 1-15. Available from: www.solardistrict-heating.eu .

Tong, Y., Kozai, T., Nishioka, N., Ohyama, K. (2010). Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient of performance (COP). Biosystem Engineering, 106, 405-411.

Volker-quaschnig.de. (2004). Solar thermal water heating. Renewable Energy World, pp. 95-99. Available from: http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index_e.php.

Wang, H., Qi, C. (2008). Performance study of underground thermal storage in a solar-ground coupled heat pump system for residential buildings. Energy and Buildings, 40, 1278-1286.

Wani, A. H., R. M. Branion and A. K. Lau (1998). "Effects of periods of starvation and fluctuating hydrogen sulfide concentration on biofilter dynamics and performance." Journal of Hazardous Materials60(3): 287-303.

Wani, A. H., A. K. Lau and R. M. Branion (1999). "Biofiltration control of pulping odors - hydrogen sulfide: performance, macrokinetics and coexistence effects of organo sulfur species." Journal of Chemical Technology and Biotechnology74(1): 9-16.

Webster, T. S., J. S. Deviny, E. M. Torres and S. S. Basrai (1996). "Biofiltration of odors, toxics and volatile organic compounds from publicly owned treatment works." Environmental progress15(3): 141-147.

W. Corré, J.J. Schröder, A. Verhagen, Energy use in conventional and organic farming systems, in: Proceedings of the International Fertiliser Society 2003, York, UK, pp. 24.

Yang, W., Shi, M., Liu, G., Chen, Z. (2009). A two-region simulation model of vertical U-tube ground heat exchanger and its experimental verification. Applied Energy, 86, 2005-2012.

Y. Lee, S. Park, J. Kim, H.C. Kim, M. Koo, Geothermal resource assessment in Korea, Renew. Sust. Energ. Rev. 14 (2010) 2392-2400.