

116049-3

ICT기반  
필터 시스템 개발  
우리나라형  
최종 보고서  
바이오

2019

농림수산물  
기술기획평가원

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

농림식품연구개발사업 제3차 연도 최종 보고서

발간등록번호

11-1543000-002549-01

# ICT기반 우리나라형 바이오필터 시스템개발 최종보고서

2019. 02. 14.

주관연구기관 / (주)유로하우징

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “ICT기반 우리나라형 바이오필터 시스템 개발”(개발기간 : 2016. 09. 05. ~ 2018. 12. 31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 02. 14.

주관연구기관명 : (주)유로하우징 (대표자) 신일식 (인)

주관연구책임자 : 신 일 식

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

## 〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 .....	3
1-1. 연구개발 목적	3
1-2. 연구개발의 필요성	3
1-3. 연구개발 범위	4
2. 연구수행 내용 및 결과 .....	5
2-1. 연구내용	5
2-2. 연구개발성과	314
2-3. 연구결과	315
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	317
3-1. 목표	317
3-2. 목표 달성여부	320
3-3. 목표 미달성 원인 및 차후대책	320
4. 연구결과의 활용 계획 .....	321
5. 참고 문헌 .....	322

## <본문>

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발 목적

- 돈사유래 발생악취 저감을 위한 ICT기반 우리나라형 바이오필터(BF) 시스템 개발

## 1-2. 연구개발의 필요성

- 본 연구과제는 우리나라 돈사유형 중 1세대에 해당하는 윈치커튼 및 스크레이퍼(scraper) 돈사, 2세대에 해당하는 개방형 슬러리피트돈사, 3세대에 해당하는 무창돈사에 이어 4세대 액비순환 무창돈사에 입기조정, 비회석식 환기, 바이오필터 악취저감 시스템을 통합하여 돈사유래 악취를 효과적으로 관리하여 지역사회와 공존하는 돈사모델 개발이 필요하다.
- 1, 2, 3세대의 악취 발생능가는 현실적 운영한계에 직면하고 있다. 대다수 지자체가 악취로 인해 돈사의 신축, 증축을 불허하고 있고, 일부 기초 지자체에서는 악취돈사를 매입 후, 폐쇄하는 사례도 발생하고 있다. FTA 이후 축사 현대화 자금 지원으로 돈사의 규모화, 현대화가 급속히 전환되고 있으며 3,000두 규모 농가는 무창/순환식 슬러리 피트돈사 도입 추세를 보이고 있다. 따라서 우리나라 현재 시장요구에 의거하여 무창/순환식 슬러리 피트돈사의 ICT 바이오필터 시스템 제품 수요가 증가할 것으로 예상된다.
- 4세대 돈사는 밀폐 돈사 이므로 모든 실내공기는 배기될 때 악취저감을 위하여 바이오 필터(BF)를 거치게 하여 악취농도를 획기적으로 삭감시켜 외부 대기로 발산하게 한다. 이때 주위로 발산되는 배출공기에 함유된 악취화합물을 최소화하기 위한 우리나라 지역(locality)에 맞는 BF 개발이 필요하다. 실증실험을 통하여 BF arrangement, BF의 구성재, BF의 제원, BF의 운영관리, 돈슬러리 수처리수의 재순환 등의 최적화가 전제된다.

### 1-3. 연구개발 범위

연구 범위/내용	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
<ul style="list-style-type: none"> <li>회석식 VBF (Vertical BioFilter) 모형돈사 실증실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>관행적 환기시스템이지만 돈사 피트의 슬러리를 처리수로 교환함으로써 피트에서 상상부(aerial environment)악취취산을 감소시키는 방법</li> <li>배기가스를 BF실에 인입시켜 수직biofilter를 관통케 하여 악취농도를 획기적으로 저감시킴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 환경요인 (온도, 습도, 유속, 공기유동, 소음수준)</li> <li>화학적 환경요인 (암모니아농도, 먼지농도 등)</li> <li>사육실 병원성균(TBC, TE, TC) 등을 분석하여 공기질 및 환기효율 실증실험</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>비회석식 HBF (Horizontal BioFilter) 모형돈사 실증실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>관행적 환기시스템의 회석식 아닌 plug flow 유동을 유도하여 비회석식으로 피트를 통하여 배기되며 이를 수평형 BF로서 악취를 희석하는 방법. 물론 돈사 피트의 슬러리를 처리수로 교환함으로써 피트에 악취농도를 저감시키는 방법</li> <li>피트를 유도된 배기가스를 BF실 인입시켜 수평BF를 관통케 하여 악취농도를 획기적으로 저감시킴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 환경요인 (온도, 습도, 유속, 공기유동, 소음수준)</li> <li>화학적 환경요인 (암모니아농도, 먼지농도 등)</li> <li>사육실 병원성균(TBC, TE, TC) 등을 분석하여 공기질 및 환기효율 실증실험</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>회석식 HyBF (Hybrid BF) 모형돈사 실증실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>관행적 환기시스템으로 돈사바닥 톱밥bedding함으로써 복지돈사로서의 가능성 분석. 동시에 매년 15% 정도 톱밥과 미생물 보충만으로 악취 저감 유의성 검증.</li> <li>특히 여름철 생분해열에 의한 톱밥갈개층 온도상승으로 인한 열해(熱害) 및 겨울철 갈개층의 유기물분해로 인한 가온(加溫)효과 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 환경요인 (온도, 습도, 유속, 공기유동, 소음수준)</li> <li>화학적 환경요인 (암모니아농도, 먼지농도 등)</li> <li>사육실 병원성균(TBC, TE, TC) 등을 분석하여 공기질 및 환기효율 실증실험</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>환기시스템의 유동 특성 실증실험</li> <li>입기(入氣)덕트 유형이 환기효율에 미치는 영향</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>회석식 VBF돈사는 직방형 입기덕트, 비회석식 HBF돈사, 반원형 천공덕트, 회석식 HyBF 모형돈사 원형덕트 1/3下向流의 환기시스템의 공기유동을 비교분석한다. smoke generator를 통해 가시적으로 비교분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>smoke generator를 통해 가시적(visualization)으로 비교분석</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>처리수 순환시스템 설치 및 개선</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>톱밥모형돈사를 제외한 돈사 2종은 슬러리를 일정기간 저류하는 피트 돈슬러리는 일정 기간 정기적 교체 (48L/hr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>피트돈사의 저류슬러리 48l/hr 처리수로 대체 악취삭감효율 분석</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ICT 시스템 적용 실증 (환기+BF)시스템 성능평가 및 실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 종(種)의 환기-BF의 조합으로 환기율과 악취농도를 PLC에 의한 센서제어 유의성 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 종(種)의 환기-BF의 조합시 악취농도 희석을 위한</li> </ul>

## 2. 연구수행 내용 및 결과

### 2-1. 연구내용

#### <1차년도>

##### 1. 연구방향 및 연구 구성시스템 개념

- 우리나라 양돈산업은 농업생산액 중 쌀 다음으로 많은 비중을 차지하고 있는 품목으로 성장하였다. 국내 경제에 상당히 기여하면서 수십 년 동안 한국의 중요한 자산으로 인식되고 있다. 2019년 현재 기준 약 1천1백만두가 사육되고 있으며, 그 생산액은 8.0조원 이상으로 보고되었다. 쌀 생산액이 약 8.0조원 앞질러 농업생산액 1위를 차지하였다.
- 우리나라 동물성 단백질 공급원 중 돼지고기가 차지하는 비중은 약 50%이고, 나머지 50%는 소, 닭 등 다른 품종에서 공급이 이루어지고 있는 특성을 가진다. 하지만 국내 돼지고기 자급율을 산정해 보면 약 70%의 자급율을 보이고, 나머지 30%는 수입에 의존하는 것이 현실이다 (예: 5,000만명 x 23.5kg/인 = 1,175천톤 소비, 1,650만두 x 60 kg = 99만톤 공급)
- FTA이후 급속한 농가조정으로 인해 기존 양돈농가 1만호에서 총 4,622농가(2016. 09.기준)로 줄어들었고, 4,622 양돈농가 중 1,000두 미만(1,708호), 1,000~5,000두(2,490호), 5,000두 이상(424호)로 구성됨. 특히, 1,000두 미만의 양돈농가는 농장약취로 인한 민원통제가 불가능해 짐에 따라 양돈업 지속이 어려워질 전망이다.



[그림 1.1] 우리나라 1세대 돈사유형 (원치커튼, 스크래퍼 돈사)



[그림 1.2] 우리나라 2세대 돈사유형 (개방형 피트돈사)

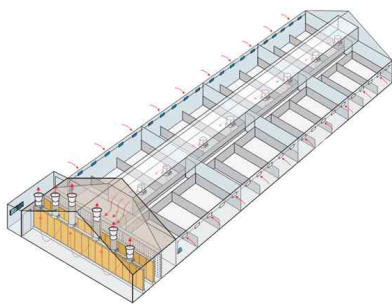


[그림 1.3] 우리나라 3세대 돈사유형 (무창돈사, 비순환식)

- 이렇게 국내 양돈농장은 그 수는 적지만 규모가 크고 집중적인 농장으로 변모하면서 더 높은 수익을 얻기 위한 경향을 보이고 있다. 동시에 규모화, 집중화된 돼지생산으로 악취 등 환경 문제가 발생하지 않도록 축사의 구조적 개선을 요구받고 있다.
- 본 연구에서는 돈사유형 중에서 1세대([그림 1.1])에 해당하는 원치커튼, 스크래퍼 돈사, 2세대([그림 1.2])에 해당하는 개방형 슬러리피트돈사, 3세대([그림 1.3])에 해당하는 무창돈사에 이어 4세대([그림 1.4]) 수처리수 순환형 무창돈사에 입기조정, 비회석식 환기, 바이오필터 악취저감 시스템을 통합하여 돈사유래 악취를 효과적으로 관리하여 지역사회와 공존하는 돈사모델 개발(환기-BF)을 주요 방향으로 설정하였다.
- 1, 2, 3세대의 악취 발생능가는 현실적 운영한계에 직면하고 있음. 대다수 지자체가 악취로 인해 돈사의 신축, 증축을 불허하고 있고, 지자체 일부지역은 악취돈사를 매입 후, 폐쇄하는 사례도 발생하고 있다. FTA 이후 축사 현대화 자금 지원으로 돈사의 규모화, 현대화가 급속히 전환되고 있으며 3,000두 규모 농가는 무창/순환식 슬러리 피트돈사 도입 추세를 보이고 있다. 따라서 우리 나라 현재 시장 요구에 의거하여 무창/순환식 슬러리 피트돈사의 ICT 바이오필터 시스템 제품 수요가 증가할 것으로 전망된다.
- 환경적 공기 오염규제가 지역, 국가, 국제적으로 더 심화되는 상황에 비취볼 때 돈사유래 악취 화합물 발생 문제를 감소시키는 해법이 필요한 시점이다. 악취 화합물 배출량을 줄이기 위한 방법으로 최근에 이슈가 되는 것 중에 하나는 바이오필터를 사용하는 것이다. 바이오필터는 새로운 기술이라기보다는 미생물의 생물학적 기작을 이용하여 악취화합물을 이산화탄소, 수증기, 및 기타 유기물로 전환

시키는 것을 의미한다. 화학적 처리방법이 아닌 자연친화적 생물학적 방법을 이용한 BF 악취저감 시스템 개발로 자원순환형 양돈업 정착을 기대한다.

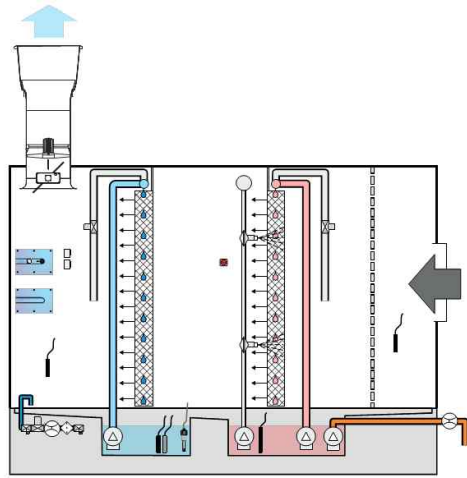
- 바이오필터는 형식(개방 또는 폐쇄) 및 흐름방향(상향(上向) 흐름, 하향(下向) 흐름, 또는 수평(垂坪)적 흐름)에 따라 분류된다. 폐쇄형 시스템은 바이오필터의 배기 및 입구구의 공기흐름을 모두 통제하지만 개방 시스템은 처리된 가스를 바이오필터로부터 직접 대기로 방출하는 차이를 가진다.
- 기후 관리 및 동물생산 모니터링은 전세계 농업 산업 분야에서 중요한 역할을 맡고 있다. 덴마크 SKOV는 기후 조절 및 동물생산 모니터링을 위한 국제적 기업 중 하나이다. 이 기업은 환기 시스템, 축사 공기청정 및 생산관리를 위한 시스템 및 구성 요소를 개발, 생산 판매하고 있다. [그림 1.4]는 SKOV Bioflex를 나타낸다.



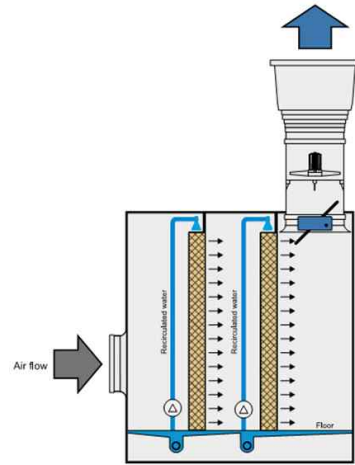
[그림 1.4] SKOV 생물학적 공기청정 시스템(BioFlex)

- SKOV는 축산 악취 및 암모니아 농도를 줄이기 위해 생물학적 세정 방법을 적용하였다. 제품을 통해 축산악취가스의 암모니아 함량을 1ppm까지 줄일 수 있다하였다. 또한 먼지가 질병 매개체가 되어 호흡기 질환을 일으킬 수 있다는 연구 결과가 보고된 바 있어 당국의 엄격한 제한 완화를 위하여 SKOV는 공기청정 시스템인 Farm AirClean을 개발하였다. Farm AirClean은 여러 시장 (S-list (벨기에), VERA 인증서, DLG Signumtest (DE), 일본, RAV 목록 (NL), 환경 보호국 기술 목록 (DA)에서 사전 승인 및 검증되었다.
- SKOV Farm AirClean 제품 중 하나는 중앙 채널 및 측벽 배기와 연계된 대형 공기 정화 시스템에 적합한 BIOFlex([그림 1.4]). BIOFlex는 2단계 또는 3단계 생물학적 살수 여상 필터유형의 생물학적 공기정화 시스템임. BIO Flex의 특징은 다음과 같음: 동일한 제어 시스템으로 10,000에서 30,000 m<sup>3</sup>/h의 용량, 시스템의 길이는 2~50m 범위로, BIO Flex는 특허 출원 중인 세척 로봇 (PA 2010 00201)이 함께 제공된다.
- 공기 청정기 BIO Flex Filter는 공기 분배판을 사용하여 최적화 되어 있어 박테리아에 대한 조건이 크게 개선되게 하였다. 박테리아가 실내 공기의 냄새 및 암모니아 농도를 쉽게 변환하여 최대효과를 얻을 수 있다.



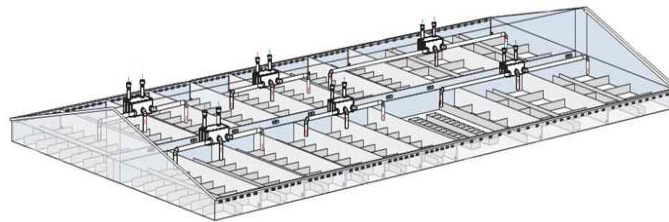


[그림 1.5] SKOV사의 바이오필터 시스템(Bio Flex)



[그림 1.6] SKOV사의 바이오모듈 시스템

- BIO Flex 제품은 에너지 소비율이 적다. 큰 필터를 통한 공기정화가 특징이며, 낮은 압력손실을 보인다. 공기 분배판의 먼지저감 기능은 자동 세척로봇과 함께 작동하여 필터를 통한 압력 손실을 항상 낮게 유지한다([그림 1.5, 그림1.6]). 이러한 방식으로 다른 필터 기반 공기정화 시스템에 비해 환기에 소요되는 운영비용이 최소화 될 수 있다



[그림 1.7] SKOV bio Module 시스템

- 세척 장치는 시간당 10,000 ~ 40,000m<sup>3</sup>/h으로 공급된다. 청소 모듈은 축사 옆 또는 축사 내부의 공간에 설치할 수 있다([그림 1.7]). 일상적인 유지 보수를 최소화하기 위해 공기 정화장치용 자동필터 클리너도 개발하였다. 각 모듈은 해당 모듈의 공기정화 프로세스를 규제하는 DOL 256 AirClean 컴퓨터가 장착되어 있어 데이터를 24시간 보고서 또는 연간 보고받을 수 있다

- SKOV의 바이오필터 시스템의 악취저감 성능을 본 과제의 목표로 하지만 시스템 구조 및 기작은 우리나라 실정에 맞추어 설계방향을 정한다. 즉, 농가입장에서 수용 가능한 비용 효율적인 바이오필터가 우선시 되어야 하며, 우리나라 부지 특성상 제한된 부지사용을 효율적으로 관리할 수 있는 돈사통합형 또는 지하구조 활용 등의 접근방법으로 시스템 설계 및 제작이 이루어질 것으로 전망된다.

#### □ 바이오필터 실증 실험돈사 (개발방향 설정)

- 육성 및 비육단계의 모형 container 돈사를 대상으로 실험하였다. 모형돈사는 폭(W) 3.0m x L 1.5m의 공조실, L 4.0m의 사육실, L 1.5m의 BF실 등 세 개의 compartment로 구성되어 있다. 각 모형돈사는 육성돈 최대 10두씩x 3ea로서 두당 약 1.2m<sup>2</sup> 밀도로 사육되었다
- 본 연구의 최종목표인 악취저감을 위한 한국형 바이오필터를 개발하는 데 있다. 악취는 스칼라(scalar)양으로 벡터(vector)인 공기유동에 의하여 희석(dilution)되거나 재분포(redistribution)된다. 그러므로 본 연구에는 현장 적용가능한 3종(種)의 환기-악취-BF 조합으로 이의 효율을 검증하고자 하였다.
- 양돈악취 저감을 위한 두 번째 대책은 발생하는 돈슬러리 수처리하여 이의 처리수(액비)를 축사의 피트로 순환한다. 액비순환 시스템으로 돈사피트에서 발생하는 악취농도의 70~80% 삭감된다고 회자되고 있다. 이들 효과의 과학적 정량화(quantification)도 본 연구의 주요 주제와 궤를 같이 한다. 그러므로 악취저감을 위한 두 가지 기술(BF, 처리수재순환)를 분석하여 양돈현장에 참고자료로 제시할 수 있다.
- 따라서 본 사업은 공기조화시스템, 바이오필터, 환기시스템, 음압식 돈사피트 처리수순환시스템, BF-dripping water 순환시스템으로 구성된 3종의 모형돈사를 2차년도 상반기까지 건축설비하여, 우리나라 양돈악취 저감(무취화 수준)에 관한 연구를 수행하고자 한다.
- 본 과제에는 2종 바이오필터 유형(VBF, HBF)에 따라 모형돈사는 나란히 위치해 있음. 공기조화시스템은 두 돈사 중간에 위치함. 두 돈사 사이에 위치한 중앙 쪽에서 돈사의 음압식 환기방식에 의하여 측벽 입기구 및 배기관으로 공기가 유입됨. A유형(희석식 환기-VBF)은 일반적인 환기방식으로 측벽 배기구를 통해 VBF로 연계되고, B유형(비희석식 환기-HBF)은 비희석식 환기방식으로 피트배기를 통해 HBF를 통해 배기된다.
- 본 연구사업의 바이오필터 시스템 설계를 위하여 실증 모형돈사의 가축분뇨 특성([표1.1])을 참고하였다. 육성·비육돈사의 돈분뇨 발생량은 '최홍림 외 (2010)'에서 인용되었다.

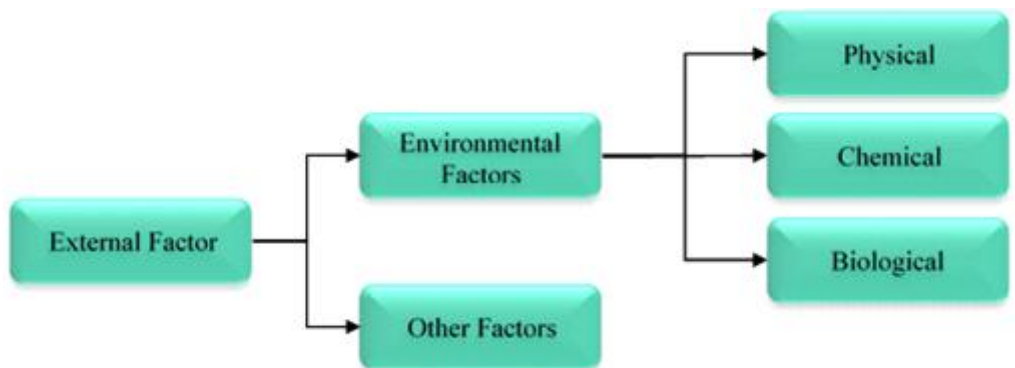
[표 1.1] 실증실험대상 모형돈사의 돈분뇨 발생특성

사육 단계	두수	평균 체중(kg)	평균 슬러리 발생량 (L/두/일)	총 발생량 (L/day)	세척수 (L/day)	돈슬러리 총발생량 (kg/day)	고액분리 후		고액분리 후 (안전계수 10% 적용시)		
							총고형물 (kg/day)	총 액상물 (L/day)	총고형물 (kg/day)	총 액상물 (L/day)	
육성, 비육	10	85	9.0	51	25	76	83.6	5.85	77.7	6.43	85.5

## 2. 연구 구성주제 및 BF의 산업적 배경

□ **돈사 환경관리** : 축산의 주목적은 사료의 에너지 및 양분을 인간이 소비할 수 있는 다양한 축산물로 전환시키는 것이다. 이러한 축산물에는 우유, 육류 및 달걀이 포함된다. 이전 방식은 품종 및 저가사료 이용하여 저가투입 고수익 사육체계였으나 이러한 시스템은 생산성 낮아 원인을 규명하고 대책을 마련해야 했다. 최근 광범위한 사육체계를 집약적 공장식 사육방식으로 바뀌면서 개량품종, 관리 및 활용을 통해 생산성과 수익을 증대시켜 왔다.

○ 돈사 사육밀도가 크게 증가하면서 환경적 교란으로 인해 가축생산성이 크게 저하되고 질병이 빈발하여 적정 사육환경을 유지하는 것이 중요하다.



[그림1.8] 가축 건강과 생산성에 영향요인

○ [그림1.8] 및 [표1.2]은 가축의 건강과 생산성에 영향을 줄 수 있는 외부인자를 나타낸다. 환경적 요인과 기타 외부요소 두 부분으로 나눌 수 있다. 가축의 환경적 요인에는 가축복지, 건강 및 생산성에 영향을 미칠 수 있는 외부 모든 물리적, 화학적 및 생물학적 요인이 포함된다(Wathes & Charles, 1994).

○ 우선 온도, 상대 습도, 공기 속도, 환기율, 광량(光量), 미세먼지 및 소음 등 물리적 환경 요인을 고려해야 한다. 화학적 요인에는 대기 환경에서의 가스 화합물이 포함되며, 생물학적 요인으로는 축사 내 부유미생물 등을 들 수 있음. 돈사 시스템의 종류, 깔개재, 바닥, 환기

시스템, 사료 공급 및 가축 관리 관리와 같은 다른 외부요소도 축산 복지, 건강 및 생산성을 결정하는 데 매우 중요할 수 있다. 이러한 요소들은 서로 상호 작용하여 가축의 생산성을 변화시킬 수 있다.

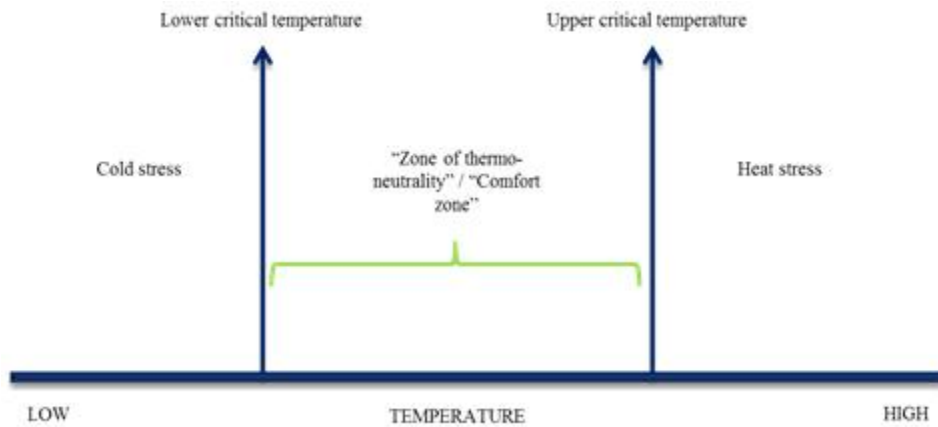
- 축산업의 집약적 축산체계에서 가축의 성장과 발육을 위한 최적조건을 유지하기 위한 환경 관리가 중요하다. 따라서 축사는 적어도 축사내부에 최적온도와 습도를 유지하고 질병 예방을 위한 환경제어 시스템을 제공할 필요가 있다.
- 가축의 생리학적 작용 및 성장을 위한 양분 이용비율과 효율은 기후환경 조건에 크게 영향을 받는다. 가축의 환경적 필요, 축사구조, 환경제어에 관한 정보는 연구되어야 할 중요한 주제이다. 따라서 본 절에서는 가축의 성장과 생산성에 영향을 미치는 환경인자([그림1.8])에 대한 정보와 축산시설의 환경 매개변수 제어방법에 대해 설명하고자 한다.

### (1) 온도 (temperature)

- 사육환경에서 주된 환경조건 중 하나는 주변 온도가 적절하게 제어되는가?이다. 이것은 가축 건강과 생산성에 영향을 미치는 주요 물리적 요소이다. 가축 생산성은 최적온도보다 높거나 낮으면, 성장에 영향을 받는다. 생산 목적으로 사용해야하는 영양분이 체온유지를 위하여 우회되면 생산성이 낮아지기 때문이다 (Baumgard & Rhoads, 2012).
- 가축의 건강과 생산성에 미치는 온도영향을 연구하기 위해 많은 연구가 수행되었다. 온도는 중요한 환경조건으로 체내에서 사용되는 에너지 특히 신진대사에 영향을 미치기 때문이다. 신체 신진대사와 에너지는 전체적인 가축 기능, 즉 생산성 및 건강에 영향을 미친다. 세포 수준에서 세포 온도가 낮아지면 효소효율과 확산용량, 세포 에너지 이용 가능성 및 막이온 플럭스(flux)가 감소된다 (Morrison et al., 2008). 또한 온도는 척수, 시상하부 및 뇌하부가 가열되거나 냉각될 때 포유류 (Morrison et al., 2008)의 뇌와 행동에 영향을 줄 수 있다 (Scott, 1983). 이러한 현상을 행동 체온조절 반응이라 한다.
- 일반적인 열(熱)diagram은 [그림1.9]와 같다. 가축이 최적 성장조건을 나타내는 "열 중립성 영역(thermal neutral region)" 또는 "안락영역(comfort region)" 이라고 불리는 범위가 있고, 중립범위 바깥에는 '열중립성 구역 아래' 또는 위의 "고온 스트레스" 또는 "uncomfort 구역"이 있다. 열중립구역의 저온 및 고온에서 가축 최적의 생산성을 발휘할 수 있는 온도의 임계점이 있다. 그러나 임계온도를 벗어나면 가축은 고온 스트레스를 받게 되고 성장이 저하된다. 가축의 임계 온도는 축종마다 다르며, 가축요인, 영양요인 및 환경 열구성요소 등 여러 요인에 따라 달라진다. 돼지요인은 체중, 이유(離乳)연령, 이유 후 즉각적인 체지방 감소, 이유(離乳) 동안의 급식수준, 번식, 상태 및 집단 크기를 포함한다 (Close, 1987).

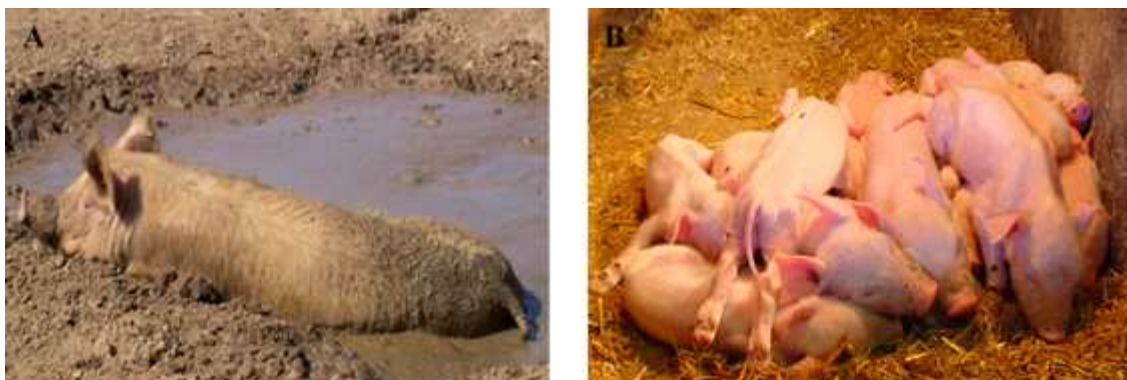
[표1.2] 돼지 생산에 영향을 미치는 환경인자

환경요인	내용	효과
온도	고온 스트레스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 근육질량 감소 및 지방조직 증가</li> <li>• 사료 섭취량 감소</li> <li>• 돼지 수정능력 감소</li> <li>• 수컷의 정자이상을 증가, 정자 이동성을 감소</li> </ul>
	저온 스트레스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사료섭취량 증가</li> <li>• 성장률 감소</li> </ul>
습도	High Humidity (95%) at 28°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 성장률 0.58에서 0.48 kg/일 감소, 사료효율은 3.5에서 3.68로 증가</li> </ul>
	High Humidity (95%) at 35°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 성장률 0.35에서 0.28 kg/일 감소, 사료효율을 3.98에서 4.27로 증가</li> </ul>
공기오염	암모니아 가스(Ammonia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이유자돈이 50, 100, 150ppm의 NH<sub>3</sub>에 4주간 노출되었을 때 12, 30, 29 %의 성장 감소를 보임</li> <li>• 육성돈이 13 ppm의 NH<sub>3</sub>에 5 주간 노출되었을 때 성장 감소 및 스트레스 증상 (높은 β- 엔돌핀 및 낮은 IGF I 및 II)을 보임</li> </ul>
	미세먼지(Particulate Matter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비염 및 폐 염증을 일으킬 수 있음</li> <li>• PM &gt; 5.2mg/m<sup>3</sup>은 새끼 돼지의 체중증가를 제한하고 폐사율을 증가시킴</li> <li>• PM &gt; 3.7mg/m<sup>3</sup>은 비육돈의 폐렴, 흉막염, 폐사율 증가</li> <li>• PM &gt; 6 μm는 FMD와 65-71% 상관성 보임</li> </ul>



[그림1.9] 일반적인 열다이아그램(thermal diagram)

- 저온 스트레스가 발생하는 저온에서는 찬 온도 영향이 더 커지므로 가축 주위의 경계층이 단열재로 작용하여 차폐를 해야 한다(Close, 1987). 그러나 환기율이 증가하면 고온에서 대류(對流) 열손실을 크게하여 고온 열스트레스의 영향을 줄일 수 있다. 고온 스트레스의 심각성에 영향을 주는 다른 요소는 상대습도, 깔개재 및 온도 변동이다 (Close, 1987; Yahav 외., 1995). 운동, 자세조절, 음식 섭취량과 물 섭취량의 변화, 행동변화와 같은 동물의 행동적 온도조절 반응으로 모니터링 할 수 있다 (Scott et al., 1993). [그림1.10 左]와 같이 더운 환경에 노출된 돼지는 증발냉각을 통해 체온조절을 할 수 있고, 추운 환경에서는 [그림1.10 右]와 같이 서로 huddling(웅크리는 행동)으로 바닥 통한 전도(傳導)열손실 줄임으로써 체온을 보존하기 위한 움직임으로 해석될 수 있다(Close, 1987).



[그림1.10] 열스트레스 적응 가축행동 예. Wallowing(左), Huddling(右)

## (2) 상대습도 (Relative humidity)

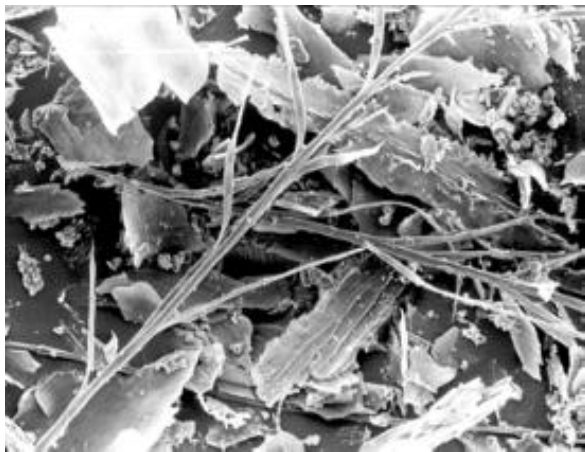
- 상대습도는 가축의 생산량과 건강에 직접적인 영향을 미치지 않는다. 상대습도가 가축의 생산성에 미치는 영향은 축사 내 주위 온도와의 상호작용의 결과이다. 이러한 결과는 고온에서 현저한데 고온환경에서 가축 체온을 조절하는 가장 중요한 과정인 증발냉각(evaporative cooling)이 이에 영향을 받기 때문이다. 더욱이 축사 내 높은 상대습도는 병원균을 증가시

키며, 축사 구조물의 부식을 촉진한다.

- Close et al. (1981)에 따르면 22°C에서 상대습도를 45%에서 95%로 증가시키면 돼지 생산성에 영향을 주지 않지만, 28°C에서는 체중 0.58kg/일에서 0.48kg/일로 17% 감소되었으며, 사료전환효율 3.5에서 3.68로 5.1% 증가되는 것으로 보고하였다. 더 높은 35°C에서 체중은 0.35kg/일에서 0.25kg/일 28% 감소하였고 사료전환효율 수치는 3.98에서 4.27로 7.2% 증가하였다. 또한 Holmes and Close (Close, 1987)에 따르면 30°C에서 상대습도 18% 증가는 공기 온도 1°C 증가에 상응함. 요약하면 온도관리가 우선되어야 하나 고온시 과습(過濕)은 중첩효과가 나타난다.

### (3) 미세먼지(Particulate Matter)

- 미세먼지는 축사 내 주요 공기 오염물질 중 하나이며 거의 유기물 및 생물학적 물질들로 구성되어 있으며 사료, 피부편, 가축털, 깔개편, 소변, 대변 및 접촉미생물 등에서 유래한다. 미세먼지 농도는 가축종, 축사형태, 사료 공급 방식, 입식밀도, 계절적 조건, 사육 방식, 시간과 같은 다양한 요소에 따라 다르다(Carpenter, 1986; Takai et al., 1998).



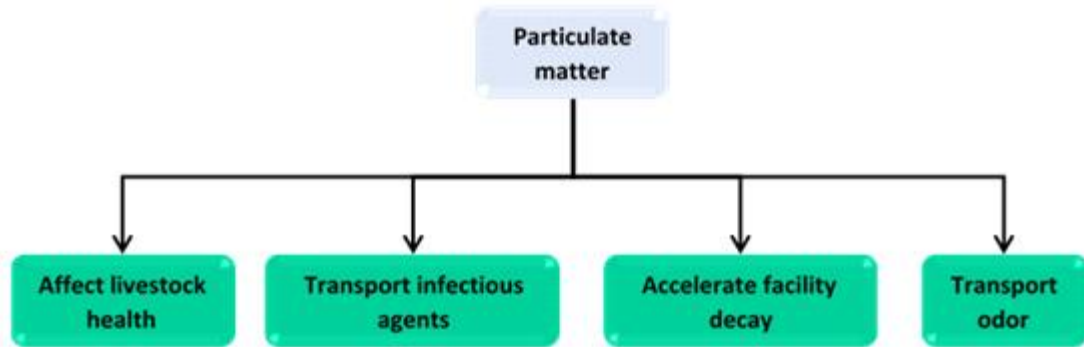
[그림1.11] 축사 먼지의 현미경 사진(Hinz, 2007)



[그림1.13] 돼지 비갑개 교차부에 발생한 비염 3기

- 미세먼지는 형태와 크기가 상이하며 ([그림1.11]), 가축에 호흡 장애를 일으킬 수 있다. 일반적으로 크기가 10 $\mu$ m 이상인 미세먼지는 육안으로 볼 수 있고 비강에 침전되며, 5~10 $\mu$ m의 미세먼지는 상부 호흡기에 침전되고, 5 $\mu$ m 이하는 하부 호흡기와 폐에 침전된다(Carpenter, 1986; Pearson & Sharples, 1995; Tan & Zhang, 2004). 미세먼지는 ([그림1.12])와 같이 가축 건강에 영향을 주고 악취 화합물을 운반하고, 구조물, 기계 부품, 장비 부식을 촉진하고 축사 내에서 미생물 및 독성 화합물과 같은 전염성 질병을 옮기는 등 다양한 역할을 한다.

- 미세먼지가 가축 건강과 생산량에 미치는 효과는 아직 명확하지 않지만 일부 연구에 따르면 양자 간에 밀접한 상관관계가 있다보고 하였다. 미세먼지는 비염, 폐 염증 혹은 호흡기에 자극을 유발할 수 있는데, 이는 입자 제거 매커니즘을 방해하거나 심지어는 억제하여 호흡기 질환에 대한 내성을 감소시킨다. 심한 경우, 비갑개(nasal turbinate) 및 비갑개의 여과 능력이 완전히 소실될 수 있다([그림1.13]<sup>1)</sup>).

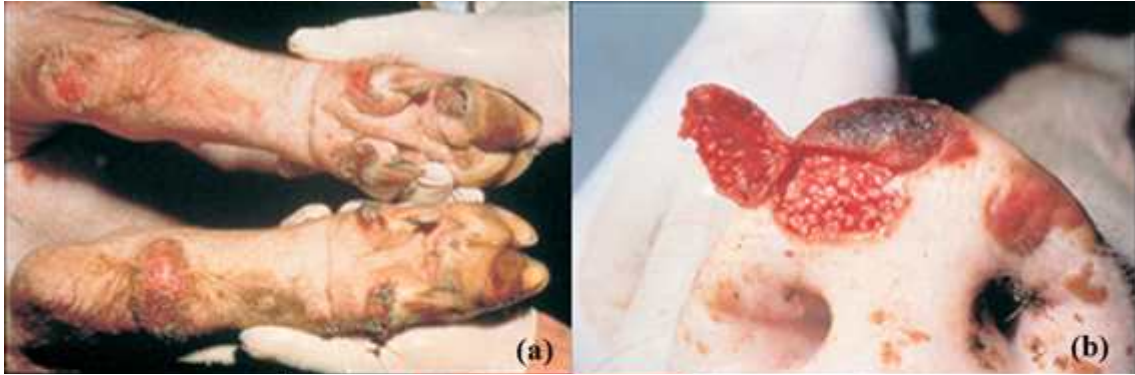


[그림1.12] 축사 내 미세먼지의 역할

- 미세먼지는 박테리아, 곰팡이, 진균 포자, 바이러스 및 독성 화합물과 같은 전염성 물질을 가축의 호흡기로 운반할 수 있다. 또한 축사 내 감염원의 분산, 생존 및 침착에서 중요한 역할을 담당한다. 미세먼지에 의해 축사에 분산되는 모든 박테리아, 곰팡이, 진균 포자 및 바이러스는 가축의 건강에 위협을 야기할 가능성이 높다(Carpenter, 1986; Takai et al., 1998; Tan & Zhang, 2004). 포도상 구균 표피, 코리네박테리아종, 구균종, 근권 성장 촉진 미생물종 및 대장균은 일반적으로 10~20  $\mu\text{m}$  의 불활성 숙주 입자와 결합한다.
- 돈사 내 먼지에서 스코풀라리움시스종, *Cladosporium*종, 모균종과 같은 곰팡이와 진균 포자가 검출되었다. 음식 바이러스, 구강 바이러스 및 뉴캐슬병 바이러스 또한 미세먼지와 관련이 있는 것으로 알려졌다. 구제역 바이러스의 약 65~71%, 19~24%, 10~11%는 미세먼지 크기가 6 $\mu\text{m}$  이상, 3~6  $\mu\text{m}$ , 3 $\mu\text{m}$  이하와 각각 관련이 있다(Carpenter, 1986; Gustafsson, 1999; Pearson & Sharples, 1995; Tan & Zhang, 2004). 이는 구제역 바이러스[그림1.14a 및 1.14b]와 뉴캐슬병이 축사 내 미세먼지에 의해 전달될 수 있음을 보여주는 그림이다.

1) <http://www.thepigsite.com/pighealth/article/312/atrophic-rhinitis-ar-progressive-disease-par>





[그림1.14] 돈사 내 미세먼지 유발 질병; (a) 및 (b) 돼지에서 발생한 구제역(FMD);  
 (<http://www.daff.gov.au/aqis/quarantine/pests-diseases/livestock/fmd>);

- 축적된 미세먼지는 건물 부식을 촉진하고 축사 내 환기구, 덕트, 열 교환기, 온도조절기 및 여타 기계 장치들의 성능을 크게 악화시킬 수 있다. 높은 습도와 결합한 미세먼지는 금속 부식 혹은 기계 노출부의 마모를 각각 야기할 수 있다. 특히 5 내지 20 $\mu$ m 크기의 미세먼지는 악취 화합물을 운반하는 것으로 알려져 있음. 호흡성 먼지 내 암모니아(NH<sub>3</sub>) 함량은 약 7,000ppm으로 축사 내 공기 속 NH<sub>3</sub> 농도보다 100에서 1,000배가량 높음(Carpenter, 1986; Tan & Zhang, 2004). 또한 Hammond et al. (1981)에 따르면 부티르산(butyric acid) 과 p-크레졸 (p-Cresol)은 미세먼지 내에서 동일량의 공기에 비해 10<sup>7</sup> 배 높은 것으로 나타났다. 악취 화합물이 가축의 건강 및 생산량에 미치는 영향은 다음 절(節)에서 논의한다.

#### (4) 악취화합물(Odorous Compounds)

- 가축이 악취 화합물에 노출되면 가축의 건강, 복지 및 생산량이 감소할 수 있다. 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 황화수소(H<sub>2</sub>S)는 축사 내에서 기체성 화합물로 존재한다. 암모니아는 자극성이 매우 높은 무색의 가스로 가축의 소변과 분뇨의 질소 화합물이 미생물에 의해 분해될 때 발생한다(Beker et al., 2004; Homidan et al., 2003; Kim et al., 2008). 황화수소는 독성이 매우 높은 기체로 미생물 유산 환원 및 분뇨 내 황 함유 화합물이 미생물에 의해 분해될 때 발생한다. 황화수소는 치사량 농도에서 인간과 가축을 사망에 이르게 할 수 있다(Almuhanna et al., 2011; Wang et al., 2011). 일반적으로 축사 내 악취 화합물은 성장률, 체중 증가 및 사료 효율을 감소시킬 수 있으며 고농도로 존재할 때 폐사율을 증가시킬 수 있다.
- 암모니아가 돼지에 미치는 영향은 암모니아의 농도와 노출 시간에 좌우됨. 예를 들어 이유(離乳)돼지(weaner pig)(생시 27~28 일령)는 암모니아에 50, 100, 150PPM 농도로 4 주간 노출되었을 때 각각 12, 30, 29%의 성장률 감소를 보였다. 하지만 100PPM의 암모니아에 6 일 동안 노출되었을 때는 어떠한 스트레스 반응도 나타나지 않았다(Banhazi et al.,

2008). 암모니아는 미세먼지에 의해 운반될 수 있기 때문에 Lee et al. (2005)는 “더러운” 공기와 “깨끗한 공기”가 이유돼지에 미치는 영향을 비교하였다([표1.3]). “깨끗한” 공기에서 사육된 돼지의 사료 섭취량과 일일 평균 체중 증가량이 “더러운” 공기에서 사육된 돼지에 비해 높은 것으로 나타났다.

[표1.3] 상이한 축사 조건에서 이유 돼지의 공기질, 생산성 및 내분비 반응(3~8주)<sup>1)</sup> (Lee et al., 2005)

항목	신선한 공기	오염공기
Ammonia (ppm)	6.0 ± 0.5 <sup>a</sup>	13 ± 0.7 <sup>b</sup>
Total Dust (mg/m <sup>3</sup> )	1.5 ± 0.20 <sup>a</sup>	2.3 ± 0.25 <sup>b</sup>
Feed Intake (g/d)	786 <sup>b</sup>	728 <sup>a</sup>
Weight Gain (g/d)	592 <sup>b</sup>	535 <sup>a</sup>
Feed Conversion Efficiency (g/g)	0.75	0.74
$\beta$ -endorphin <sup>2</sup> (pg/ml)	90 <sup>a</sup>	160 <sup>b</sup>
IGF-I <sup>2</sup> (ng/ml)	290 <sup>b</sup>	240 <sup>a</sup>
IGF-II <sup>2</sup> (ng/ml)	300 <sup>b</sup>	270 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Data in a row of same row with no common superscript differ significantly (P<0.05)<sup>1</sup>  
Means ± SD of 10 pigs per treatment<sup>2</sup> Data at the end of experiment (week 8)

- 하지만 사료전환효율(FCR)에서는 특별한 차이가 나타나지 않았으며, 이는 “깨끗한” 공기에서 사육된 돼지의 성장률이 “더러운” 공기의 돼지에 비해 높다는 것을 나타낸다. “더러운” 공기의 돼지의 내분비는 높은  $\beta$ -엔도르핀 반응을 보이며 이는 시상하부-뇌하수체-부신(HPA) 축의 활성화를 의미한다. HPA 축 활성화는 스트레스 반응 메커니즘의 일부이며 가족의 항상성을 유지하는 기능을 한다(Minton, 1994). [표1.3]는 인슐린 유사 성장 인자 I (IGF-I) 및 인슐린 유사 성장 인자 II (IGF-II)가 “깨끗한” 공기에서 사육된 돼지가 오염공기에서 사육된 돼지보다 높게 나타났다.
- IGF I and IGF II는 돼지의 생산성에서 중요한 역할을 담당하는데 전자(前者)는 제지방 축적을 조절하며 후자(後者)는 지방 조직 성장을 조절한다(Owens et al., 1999). “오염” 공기에서 사육된 돼지에서 동 호르몬들의 농도가 낮게 나타나는데 이는 스트레스 인자에 영향을 받는 이러한 돼지들의 대사 상태를 보여준다. 스트레스 환경에서 영양소는 뇌, 심장, 폐, 신장과 같은 필수기관의 정상적 신진대사 유지를 위해 사용되므로 IGF I 및 IGF II와 같은 성장 인자의 생산은 저하된다.

## (5) 환기시스템

- 일반적으로 환기는 겨울철 돈사에서서는 수분제어를 위하여 여름에는 열을 제어하기 위하여 시행한다. 제어도구로서의 환기(ventilation)는 돈사내의 온도, 습도, 악취, 부유세균 등의 환경인자를 조절하는 가장 현실적인 수단으로 인식되고 있다. 왜냐하면 환기(공기유동)는 '운동량'이라는 물리량을 가지기 때문이다. 그러나 모든 환경인자를 고려하여 돈사의 환기시스템을 설계한다는 것은 현실적으로 불가능하다.
- 일반적으로 돈사내의 온, 습도를 제어하기 위한 환기시스템 설계만으로도 특수한 경우를 제외하고는 다른 환경인자도 제어할 수 있다고 알려져 있기 때문에 환기시스템 설계는 온·습도제어를 기본으로 한다. 온도의 평형은 에너지 보전의 법칙에 의해 가축의 현열 발생, 건물과의 열전도 손실, 환기에 의한 열손실, 냉난방 부하 등에 의하여 유지된다.
- 환기가 이루어지는 동안 외부 공기가 유입되면서 동물에 의해 생성된 습도, 열 및 기타 오염물질을 축사내부 집적의 결과를 가져온다. 일반적으로 환기는 공기가 돈사를 통해 이동하여 내부 공기를 희석하고 모든 성분을 희석시키는 희석 과정으로 해석된다. 희석은 수분과 열이 집적되는 것을 감소시키며 희석으로 공기 중 병원균, 유해가스, 먼지 및 악취강도도 함께 감소된다.
- 가스 발생 및 휘산은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받을 수 있다 (Blanes-Vidal, Hansen, Pedersen & Rom, 2008; Haeussermann, Hartung, Gallmann & Jungbluth, 2006). 이러한 영향 인자를 최적조건으로 관리하면 양돈에서 발생하는 가스상 배출량을 줄일 수 있다.
- 돈사 환기시스템은 해당지역의 열조건과 실내 공기질에 큰 영향을 미치므로 돼지 생산에서 중요한 역할을 한다. 적정 설계를 바탕으로 기능적이고 효율적인 환기시스템은 신선한 공기를 돈사내로 유도하고 공기 중 오염 물질을 효과적으로 제거할 수 있도록 하는 것이 기본 기능이다. 비효율적인 환기시스템은 동물건강 및 생산성저하와 더불어 근로자의 건강에도 위해(危害)하며 에너지 낭비도 크다.
- 적절히 설계하고 설치된 환기 시스템은 여름철의 충분한 환기, 겨울철의 적절한 최소 환기율, 최소 환기율과 최대 환기율 사이의 적정단계 및 운전자에게 경고하는 안전경보를 제공한다. [표1.4]는 성장단계별 돈사의 권장 환기율을 나타낸다.
- 외기온에 따른 환기율 결정은 3차년 연구결과에서 상세히 설명한다. 다만 본 절(節)에서는 선행연구의 결과를 경험법칙에 의해 참고목적으로 제시한다,

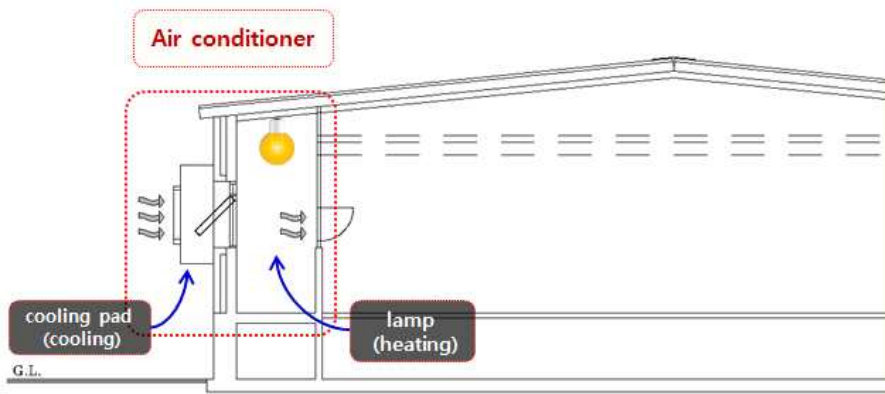
[표1.4] 성장단계별 돈사 권장 환기율

성장단계	질량 (kg)	겨울철 환기율 (m <sup>3</sup> /h/head)	여름철 환기율 (m <sup>3</sup> /h/head)
모돈	181.5	34	850
이유자돈	5.5 - 13.6	3.4	42.5
	13.6 - 34	5.1	59.5
비육돈	34 - 68	11.9	127.4
	68 - 113	17	203.9
임신돈	147.4	20.4	254.9
종돈	90.7	23.8	509.7

Source: Iowa State University (1999)

### (6) 공기조화시스템(쿨링패드)

- 여름철에는 돈사 내부에서 생성되는 열, 미세먼지 및 악취 혼합물을 제거하기 위해 최대 환기량이 적용됨. 최대환기량은 고풍력 팬을 사용하므로 소음이 발생된다. 팬소음을 방지하기 위해서는 더운 날씨에도 최대환기 수준으로 팬을 운영하기보다는 돈사에 입기되기 전단계에서 입기온을 공조(空調)하는 공조실([그림1.15]) 설비한다. 공조실에서 여름철에는 cooling pad (증발냉각) 버퍼링 존 공기를 냉각하며, 겨울철 추운 날씨에는 가온등으로 공기를 가온(加溫)하여 사육실로 인입(引入)시킨다.



[그림1.15] 공기조화장치(쿨링패드) 실증돈사 측면도

- 공기 감온(減溫)에 필요한 에너지는 외기온과 공조실 내부의 설계된 대기 온도의 잠열 차와 동일하다. 냉각 및 제습 개념과 이론을 적용하여 대기 온도를 낮추는 데 필요한 에너지를 산정할 수 있다. 냉각은 감온(減溫)과 가습(加濕) 과정으로 건구온도(dry-bulb temperature)는 낮아지나 습도비(humidity ratio)는 높아진다.

### (7) 악취저감 위한 처리수 순환시스템

- 슬러리피트 저류 돈슬러리는 돈사 악취원 중 하나이다. 돈슬러리 배출 냄새는 주로 단백질,

탄수화물 및 지방과 같은 분뇨에 함유된 유기물의 불완전한 분해로 인해 발생한다. 기본적인 제3세대 돈사는 악취저감기술이 적용되어 있지 않다. 제4세대 돈사는 미생물제 저감 및 돈슬러리처리수 재순환 기술을 적용한다. 제2,3차 년도 연구에서 처리수 재순환시스템을 상세히 서술한다.

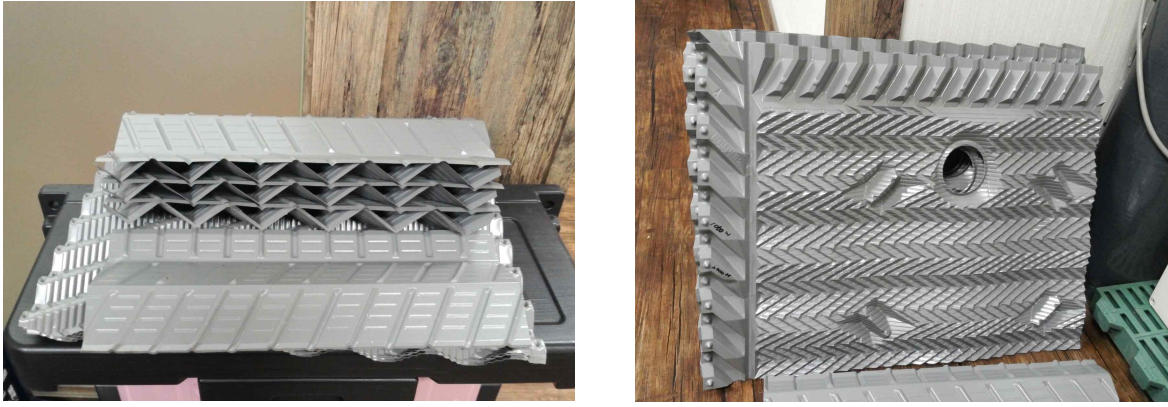
- 슬러리 제거 빈도는 돈사내부의 악취생성에 영향을 줄 수 있는 요인으로 고려된다. 장 기간 돈슬러리를 저류함으로써 유기물이 부패되어 악취를 휘산하므로 적어도 2~3일 내 한 번은 전량교체 되도록 미생물상이 안전되어 냄새강도를 저감할 수 있다. 본 연구의 대상 모형돈사의 경우 [표1.5]과 같은 피트특성을 나타낸다.

[표1.5] 모형돈사 돈슬러리 발생량에 따른 피트용량 계산

성장단계	두수 (head)	평균체중 (kg)	평균 돈슬러리 발생량 (L/head/day)	총 슬러리발생 량 (L/day)	세척수 (L/day)	총 발생량 (kg/day)	최소 피트량 (m <sup>3</sup> )
육성돈	10	85	5.1	51	25	76	3.0

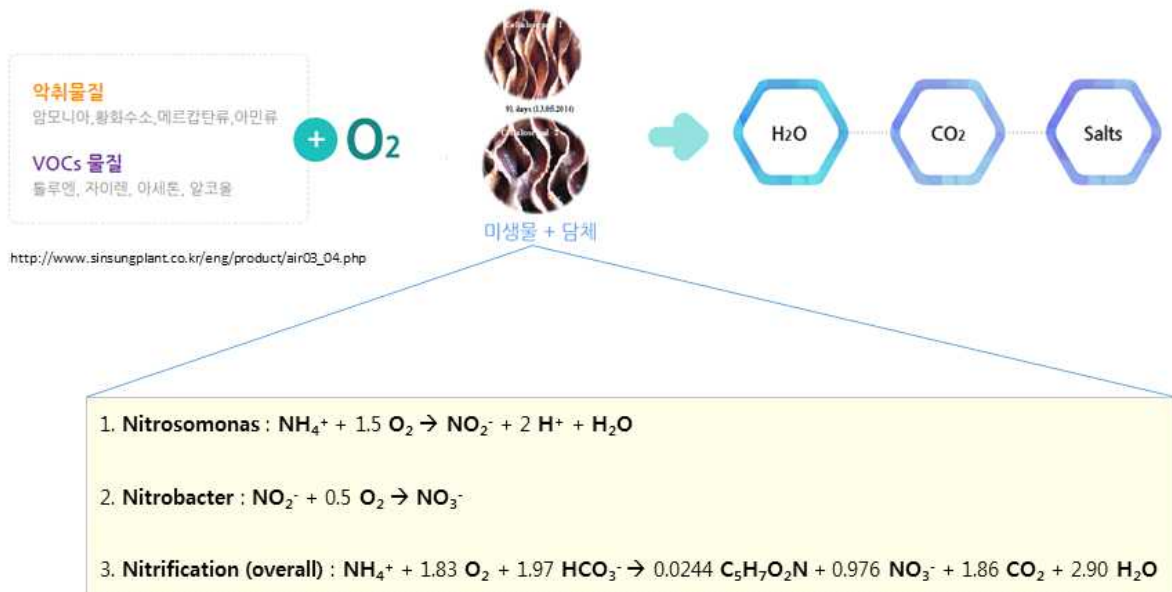
### (8) 바이오필터(BF)시스템

- 본 연구에서 개발하고자하는 바이오필터(BF)시스템은 가축분뇨 발효액(1차) + 바이오필터 (2차)로 구성 (2차 바이오필터에 서식하는 미생물은 우리나라 돈사악취 저감에 적합한 종(種)을 특화시켜 적용하여 외국제품과 차별화된 우리나라형 바이오필터를 제시하고자 함). 돈사 공조실 + 돈사내부 사육실 환기시스템 연계구성 되고, ICT기술 적용 통한 돈사 내외부 환경정보 고려한 환기악취 통합형 제어시스템이라 할 수 있다.
- 본 연구 제4세대 돈사는 적용할 모형돈사 BF는 모형돈사 A의 희석식 환기시스템+피트돈사 +VBF, B형 비희석식 환기시스템+ 피트돈사+HBF, 희석식 환기시스템+깔개돈사+HyBF를 2, 3차년도 다음 장(章) 연구결과에서 상세히 서술한다.
- 본 연구는 두 가지 유형의 바이오필터를 수행하고자 함. 모형돈사 바이오필터 A 유형 [그림1.16]은 돈사의 측벽에 일정공간을 두어 바이오필터를 설치한다. 돈사 측벽의 팬에서 음압으로 돈사내부 공기가 인입되면 바이오필터 담체[그림1.16]를 압력에 의해 통과한다. 담체 상부에는 순환수 살포 시스템이 연계설치 되어 있어 미생물 서식환경을 조성해주고 먼지제척기능도 담당한다.



[그림1.16] 실증 모형돈사 바이오필터(A 유형) 담체

- 바이오필터 담체와 순환수 시스템은 밀폐용 관재를 사용하여 누출(漏出)공기가 없도록 밀폐하였다. 돈사의측벽 배기구를 통해서 내부 압력이 양압화되어 밀려나는 방식으로 악취를 BF담체와의 접촉 체류시간을 최대한 늘릴 수 있도록 설계하였다.



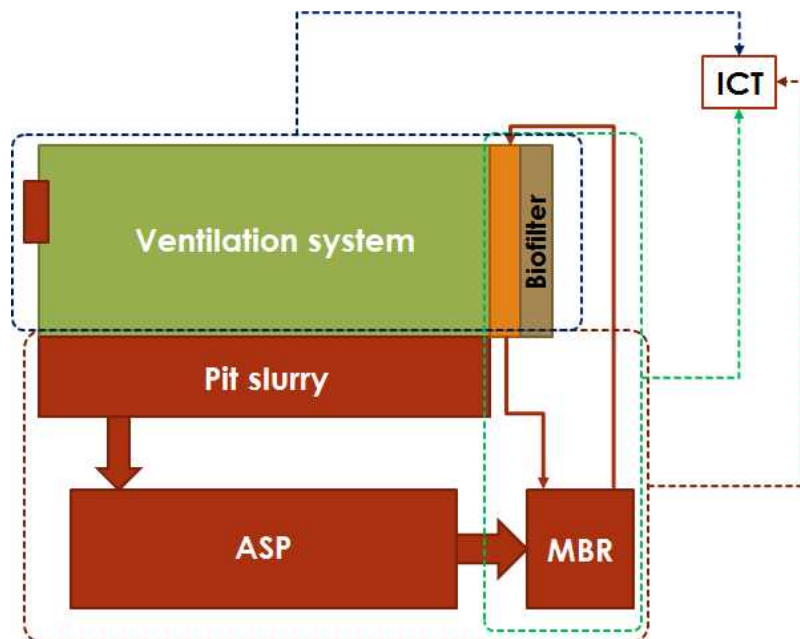
[그림1.17] 바이오필터 암모니아 저감 기작

- 악취화합물 중 암모니아 가스(NH<sub>3</sub>)는 바이오필터를 통과하는 동안 담체표면에 형성된 바이오필름에 용해된 후 바이오필름 내 서식하는 호기성 미생물에 의해 생물학적으로 분해되는 질산화 과정(nitrification)으로 기본 공정기작은 [그림1.17]에 주어져 있다.
- 바이오필터 사용자는 바이오필터 내부환경 센서링(온도, 습도, 유속, CO<sub>2</sub>, pH) 및 모니터링 통해 바이오필터 미생물 서식환경을 유지·관리할 수 있어 배기되는 악취저감 효과를 극대화 하고 바이오필터의 수명을 연장할 수 있다. 암모니아 측정센서의 경우 부식정도가 심하여 대체센서를 항상 구비해야 한다.

- 처리된 돈슬러리는 BF 시스템으로 순환되어 재활용 됨. 처리된 돈슬러리는 낮은 pH (<5)를 띄고 있어 암모니아 흡수를 촉진하게 됨. 따라서 질산화 과정에 의해 암모니아가 물속에 용해되어 이온화 형태로 잔존하게 됨. BF담체에 지속적인 암모니아 용해 및 흡수로 인해 pH값이 증가되고 암모니아의 흡수율은 감소됨. 따라서 흡수율 유지위한 순환수 살포 시기, 빈도수, 살포량에 관한 연구가 필요할 것으로 예상됨. 따라서 재순환수의 pH값은 바이오필터 악취저감 효율과 순환수 시스템 운영에 있어 중요한 지표로 사용될 예정.
- 암모니아는 pH가 7 이상이 되면 평형식에 의해 암모니아 가스형태를 띄게 됨. 즉, BF내의 재순환수 pH가 7보다 높으면 용해되었던 암모니아가 다시 대기로 방출되는 것을 의미함. 따라서 BF 내 재순환수의 pH는 항상 7 이하로 유지되어야 하며 pH가 7 이상으로 증가하면 시스템은 신선한 재순환수를 시스템에 자동으로 첨가되어야 함.

#### 4. 각 요소기술 ICT기반 Directory 구축(착수)

- 본 과제는 ICT 기반 바이오필터 시스템의 한국표준 확립을 목표로 함. 본 연구에서 통제되어야 할 모든 부분들은 상호 연결되어 있으므로 각각 분리통제가 거의 불가능하다. 예를 들면, 공기가 공조기를 통해 유입되고 연결된 돈사의 환기 시스템을 통해 이동하여 바이오필터 시스템을 통해 배기(排氣)된다. 바이오필터 내에서 순환수로 사용되는 순환수(MBR) 또한 ASP에서 생산되므로 바이오필터 시스템은 ASP와 직접적으로 [그림1.18]과 같이 상호연계되어 있다.



[그림1.18] 정보통신기술(ICT)과 바이오필터, 돈사환기, 활성슬러지 공정(ASP) 및 멤브레인 반응조(MBR) 연계 흐름도

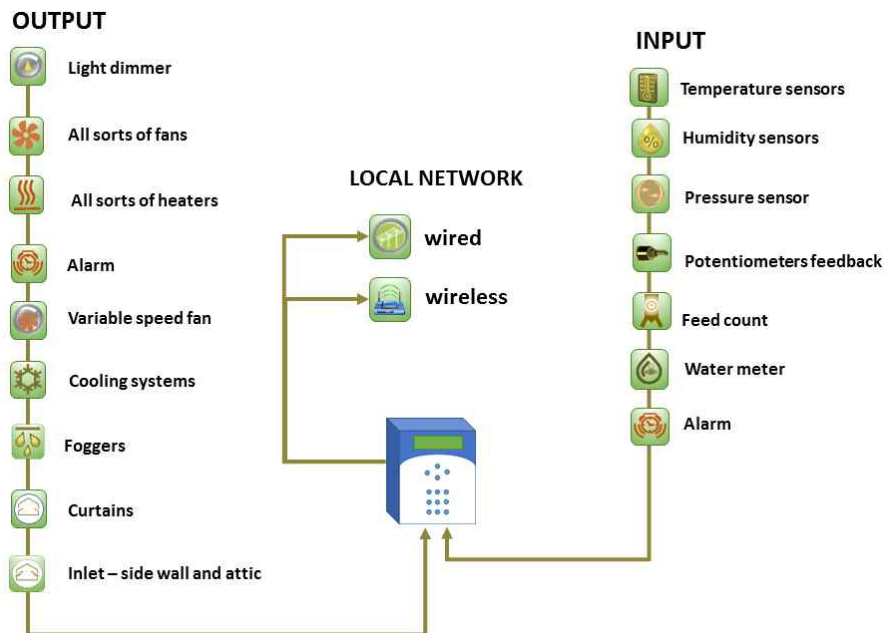




을 저하시키지 않으면서 팬 저속(低速) 또는 저(低) 환기율의 균형을 맞출 수 있을 것으로 예상되어 과도한 팬가동으로 인한 소음을 줄일 수 있다. 돼지의 복지수준을 높혀 주고 주변 지역 사회에 민원을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

[표1.6] 본 연구에서 수행할 ICT 데이터 항목

구분	내용
돈사 요인	Unit area thermal conductance (W/m <sup>2</sup> K)
	Area (m <sup>2</sup> )
	Perimeter (m)
	Perimeter heat loss factor (W/mK)
돈사내부 환경요인	T inside (°C or °K)
	RH inside (%)
	CO <sub>2</sub> inside (ppm)
돈사외부 환경요인	T outside (°C or °K)
	RH outside (%)
	CO <sub>2</sub> outside (ppm)
	Air density (kg/m <sup>3</sup> )
가축 요인	Type animal
	No animal
	Average weight (kg)
열 (kW) 및 수분 (kg/s)	Sensible heat (kW)
	Latent heat (kW)
	Moist (kg/s)

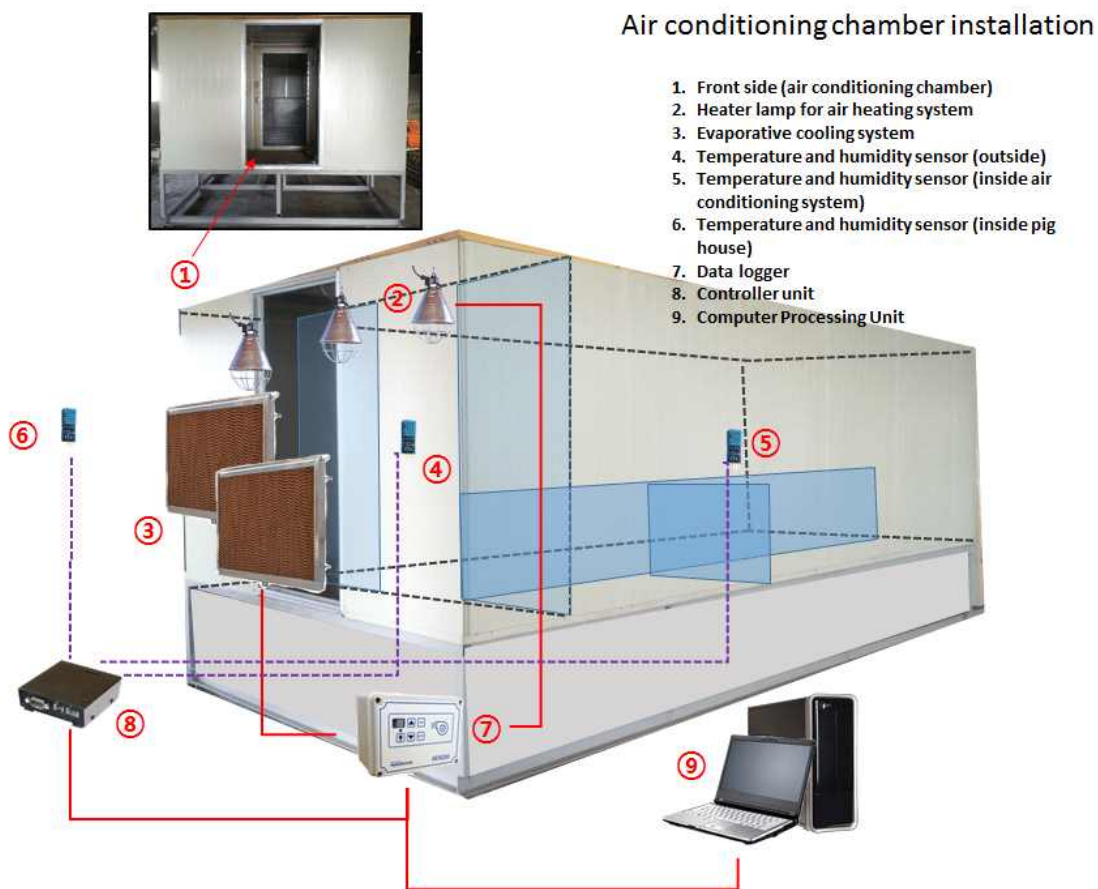


[그림1.19] ICT 기반 돈사 및 바이오필터 시스템 개발에 대한 입력 매개변수 및 출력 매개변수

## <2차 년도>

### 1. 공기조화실(air-conditioning chamber), 바이오필터, 환기시스템 (일반+피트) 현장설치

○ 돈사의 공기 공급량과 공기질은 돼지성장과 상관성이 높아 공조실(air conditioning room) 역할이 중요하다. 본 과제에서 냉난방 시스템은 온도 및 습도센서 정보를 기반으로 ICT에 의해 자동으로 제어되도록 하였다. ([그림 2.1]). 돼지의 각 성장 단계별 comfort zone 정보를 시스템에 설정하였다. 돈사의 성장단계별 정보를 제어시스템에 입력하면, 공조시스템은 자동으로 돈사내부 공기온도를 적정 온도대로 유지하도록 한다. 실제 온도와 습도는 매시간 센서에 의해 감지되고 데이터 logger에 기록되며, 이 정보는 처리장치로 전송된다. 설정온도에 도달할 때까지 실행신호가 controller에 보내져 냉각장치(쿨링패드 등; [그림 2.2][그림 2.3]) 또는 가온장치를 구동한다.



[그림 2.1] 실험돈사 (ACC, 쿨링패드, 온습도 센서, ICT 제어) 개념도



[그림 2.2] 냉난방 장치포함  
공기조화실



[그림 2.3] 실험돈사 공조실 쿨링패드 실상도

## 2. 바이오필터(BF) 특성 및 설치

- 본 과제의 바이오필터(BF) 시스템의 차별성은 다음과 같다 : 가축분뇨 발효액(1차) + 바이오필터(2차)로 구성 (2차 바이오필터에 서식하는 미생물은 우리나라 돈사악취 저감에 적합한 종(種)을 특화·적용하여 외국제품과 차별화된 우리나라형 바이오필터를 제시코저 함). 실

협돈사는 돈사외부 공조실 + 돈사내부(사육) 환기시스템 + ICT기술 적용한 BF로 연계구성되며 돈사내외부 환경정보 고려한 악취희석 환기통합형 제어시스템이다.

- 본 연구는 두 가지 유형의 바이오필터시스템의 효율을 검증하고자 한다. 실증돈사 바이오필터 수직형[그림 2.4㉓]은 돈사의 측벽에 일정공간을 두어 바이오필터를 설치하였다. 돈사 측벽의 팬에서 양압(陽壓)으로 돈사내부 공기가 인입되면 바이오필터 담체를 공기압에 의해 통과한다. 담체 상부에는 순환수 살포시스템이 연계설치되어 있어 미생물 서식환경을 조성해주고 먼지세척기능도 담당한다. 바이오필터 담체와 순환수 시스템은 밀폐용 판재를 사용하여 공기가 새어나가지 않도록 설계하였다. 돈사의㉓측벽 배기구를 통해서 내부 압력이 차면서 밀려나는 방식으로 악취가스가 BF담체와의 접촉 체류시간을 최대한 늘릴 수 있도록 하였다.
- 바이오필터 수평형[그림 2.4㉔]은 음압식 피트배기를 통해 배출되는 돈사악취를 cellulose pad 구성된 수평형 BF로 희석하는 방식이다. 돈사외부에 설치된 송풍기를 통해 이동된 악취공기는 BF하부에서 상향(上向)하면서 생물학적 반응에 의해 악취화합물 저감되도록 설계하였다. 본 연구에서 BF여재 구성 및 정량변화에 따른 악취화합물 저감효율을 분석하여 최적 BF구성 조건을 제시하고자 하였다.



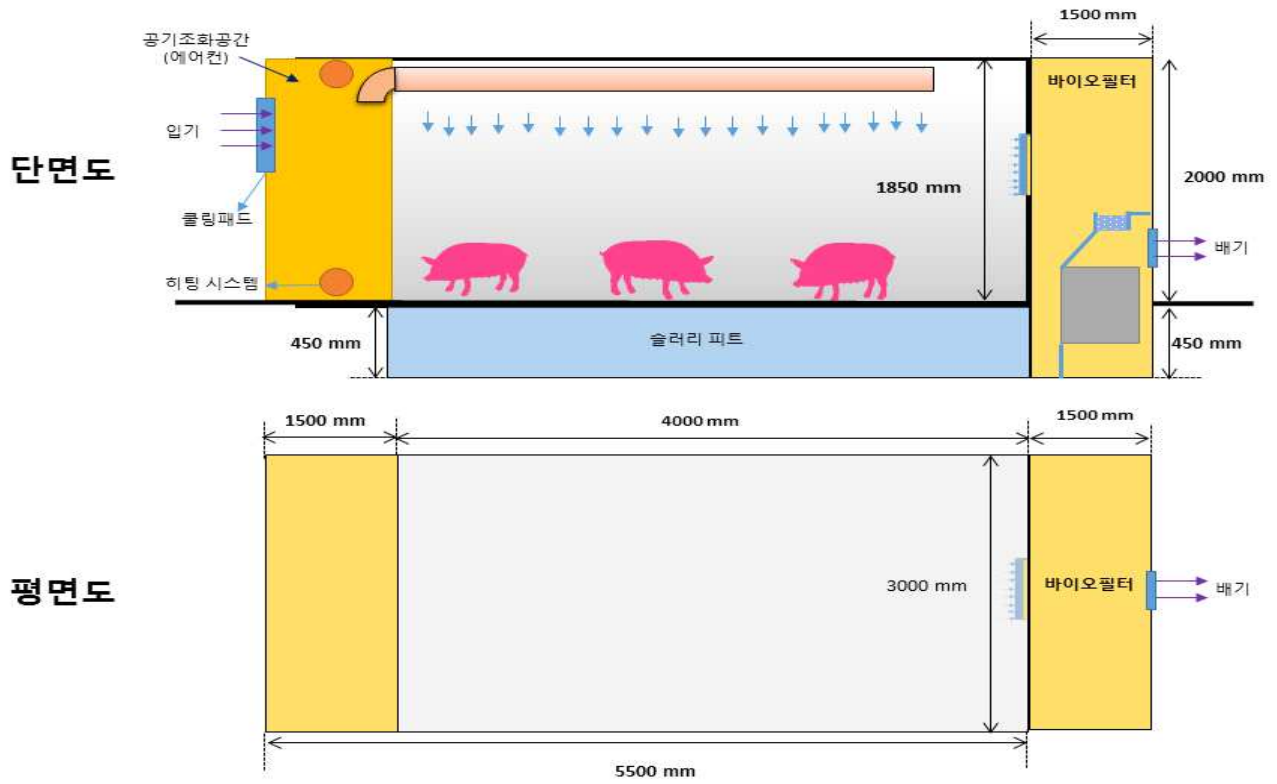
[그림 2.4] 실험돈사 바이오필터 설치모습 (㉓수직형 BF, ㉔수평형 BF)



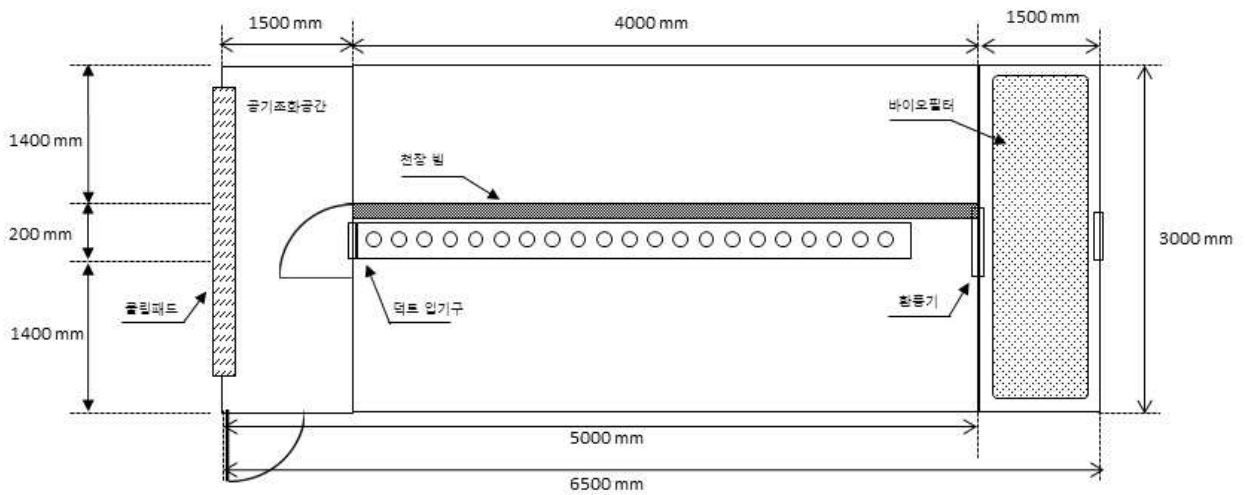
[그림 2.5] 현장에 설치된 실험돈사 실상도(돈사 가동㉠ 및 돈사 나동㉡)

### 3. 환기시스템

- 기능적이고 효율적이며 잘 관리된 희석식 환기 시스템은 신선한 공기를 돈사 내로 유입하여 미생물, 먼지, 유해 가스 및 수증기를 함유하는 탁한 공기를 희석한다. 비효율적인 환기 시스템은 돼지의 건강 및 근로자의 업무효율(특히 더운 날)에 악영향을 미치고 생산성을 저감시킨다. 공기질이 나쁘면 호흡기 질환이 증가할 수 있으므로 낮은 온도에서도 최소환기가 필요하다. 그러나 가온(加溫)없이 는 돼지 현열(sensible heat)이 돈사 적정온도대를 유지하는 ep 가장 크게 기여하는 열획득원(heat gain)이다. 열손실은 돈사의 벽체와 지붕을 통해 발생하는 전도 열손실과 환기를 통한 열손실이 가장 크다. 고온대에서는 고온 뿐만 아니라 과습고 제어되어야 한다. 일반적으로 고온저습(高溫低濕)은 큰 문제가 되지 않지만 고온다습(高溫多濕)은 water vapor가 함유하는 잠열(潛熱: latent heat) 때문에 돼지에게 부하(負荷)되는 열용량이 실로 엄청나다. 그러므로 고온과 동시에 다습일 경우 적극적으로 cooling/막 conditioning을 통하여 온도와 습도를 저감시켜야 돼지생산성 저하를 최소화할 수 있다.
- 본 과제에는 서로 다른 두 유형의 환기 시스템(희석 환기 시스템 및 비희석 환기 시스템)을 대상으로 실증돈사의 악취농도변화, 돼지의 생산성, 피트의 처리수순환이 악취저감에 미치는 영향 등을 실증실험 하였다.



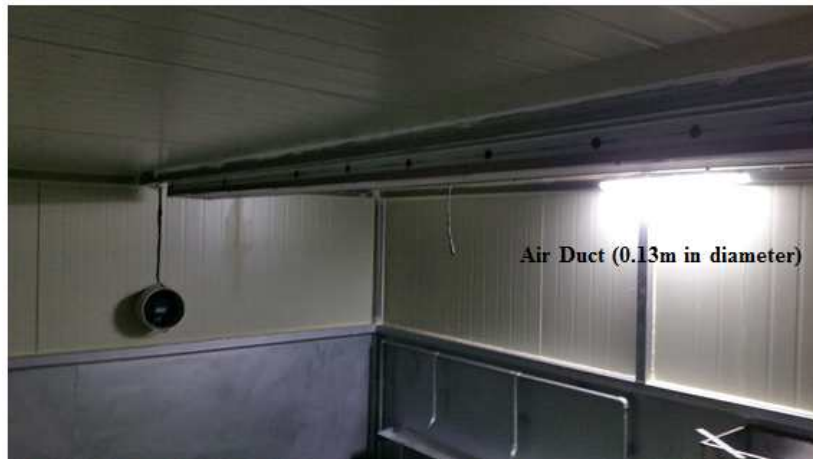
[그림 2.6] 실험돈사 가동 (a)수직형 바이오필터 개념도(단면도 및 평면도)



[그림 2.8a,b] 실험돈사 가동 (수직형 바이오필터) 실내 모습

- [그림 2.8a]와 [그림 2.8b]는 실험돈사 가동④ 지붕의 공기 덕트의 내부 설치도를 보여줌. 각 덕트의 덕트지름은 130mm이며, 천공은 30mm으로 설계하였다.

**Type A Ventilation system**



[그림 2.8c] 실험돈사 가동 (수직형 바이오필터) 실상도

- [그림 2.8c]는 실험돈사 나동⑤ 천정에 설치덕트의 실상도이며 팬은 돈사 내부 공기순환을 위해 돈사 벽체에 설치됨([그림 2.8d]). 팬사양은 [표 2.1]에 나타나 있음

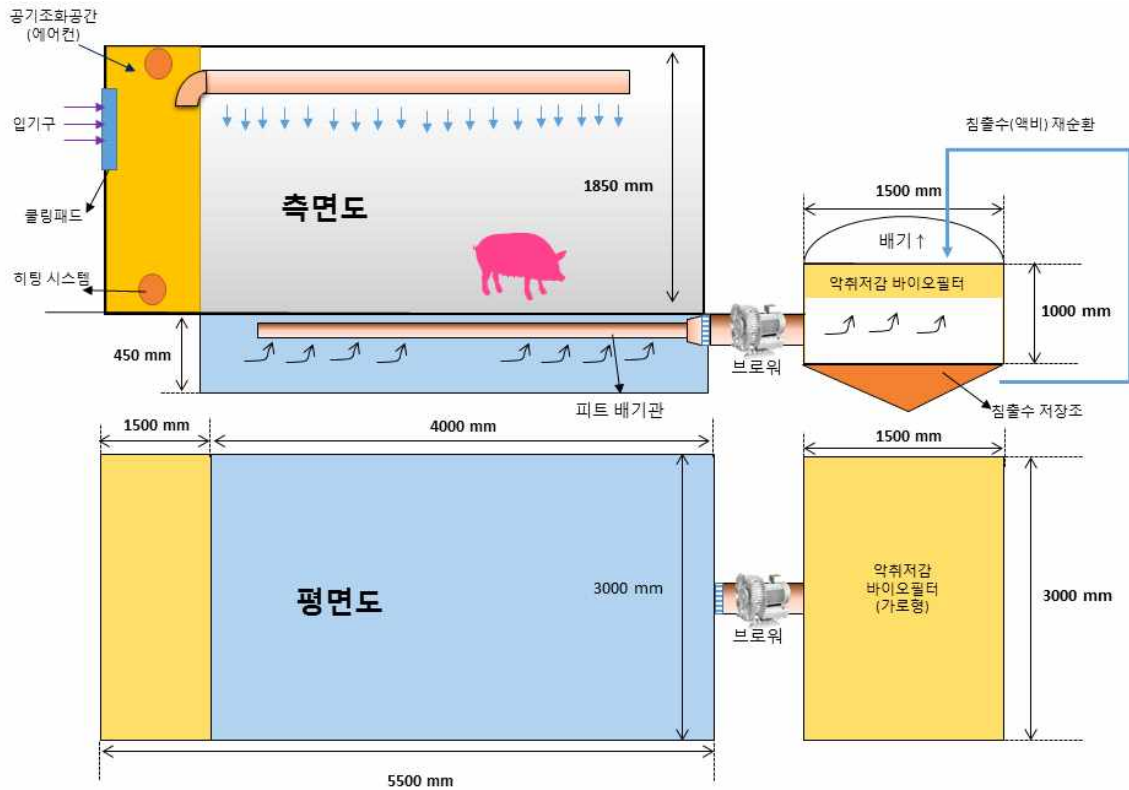


[그림 2.8d] 돈사 벽체에 설치된 팬

[표 2.1] 팬 사양 및 덕트 정보

A형 환기 시스템	
유로팬(Euro Fan)	
팬 사양	
§동력 (Watt)	255.2
§전압 (V)	220
§전류 (Ampere)	1.16
§RPM	3300
§덕트 지름 (mm)	130
§덕트 면적 (m <sup>2</sup> )	0.0133

## Type B Ventilation system



[그림 2.9] 실험돈사 나동 (㉞수평형 바이오필터) 개념도(단면도 및 평면도)

- 비회석 환기 돈사의 B형 환기 시스템 ([그림 2.9])의 예상 공기흐름은 [그림 2.9a]과 같다. 이 시스템에서는 공기유동은 plug flow로서 먼저 유입된 공기가 먼저 배출되어 오염원이 기존 공기와 혼합되지 않고 배출되므로 실내의 먼지입자, 병원성 미생물, 부유물질, 냄새물질 등을 돈사에서 완전히 제거할 수 있다. 돈사의 압력은 음압으로 인출관을 통해 공기를 흡입하는 방식으로 제어된다. 돈사 내부와 외부의 압력 차이로 인해 외부 공기가 인입관을 통해 돈사 내로 유입되며 [그림 2.9a]는 돈사 내부의 유입 공기 덕트 천공크기는 인입부로부터 1/3은 3mm, 가운데 1/3은 5mm, 나머지 1/3은 10mm와 같다. 벽체환기시스템의 반원덕트에 비해 세립(細粒)천공(穿孔)으로 토출제트(jet)가 균사(均射)되리라 예측한다.





[그림 2.9a] 실험돈사 나동 (㉞수평형 바이오필터) 실상도

- 비회석 환기 시스템에서 공기는 슬러리피트의 headspace에 설치된 파이프덕트를 통해 흡입되어 지하 수평형바이오필터 시스템으로 송풍(送風)된다. [그림 2.9b]는 덕트로 유입되는 입기(入氣)구의 실상도이다.



[그림 2.9b] 실험돈사 나동 (수평형 바이오필터)에 설치된 공기 덕트 실상도



[그림 2.9c] 실험돈사 나동 (㉔수평형 바이오필터) pit벽에 설치된 음압팬

- 공기 제거를 위해 피트 외부에 설치된 팬의 사진이 [그림 2.9c]에 나와 있으며 사양은 [표 2]에 기재되어 있음

[표 2.2] 팬 사양 및 덕트 정보

B형 환기 시스템	
팬 사양	
§동력 (Watt)	131
§전압 (V)	220
§전류 (Ampere)	1.15
§RPM	n.d
§덕트 지름 (m)	0.13
§덕트 면적 (m <sup>2</sup> )	0.0133

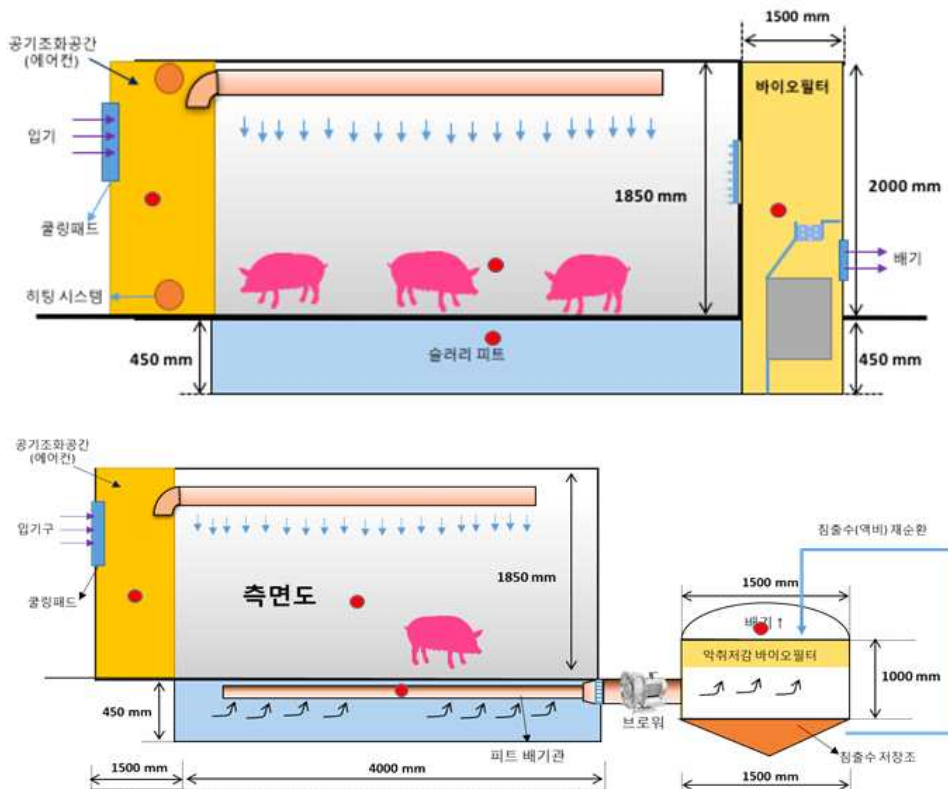
#### 4. 음압 파이션 피트 완료 보수

- 피트를 통과하는 음압 환기 시스템을 갖춘 돈사의 공조(conditioning)을 위해 환기 덕트는 피트 상부, 슬롯 하부에 설치됨. 피트 환기 음압 시스템의 설치가 [그림 2.10]에 나타나 있음

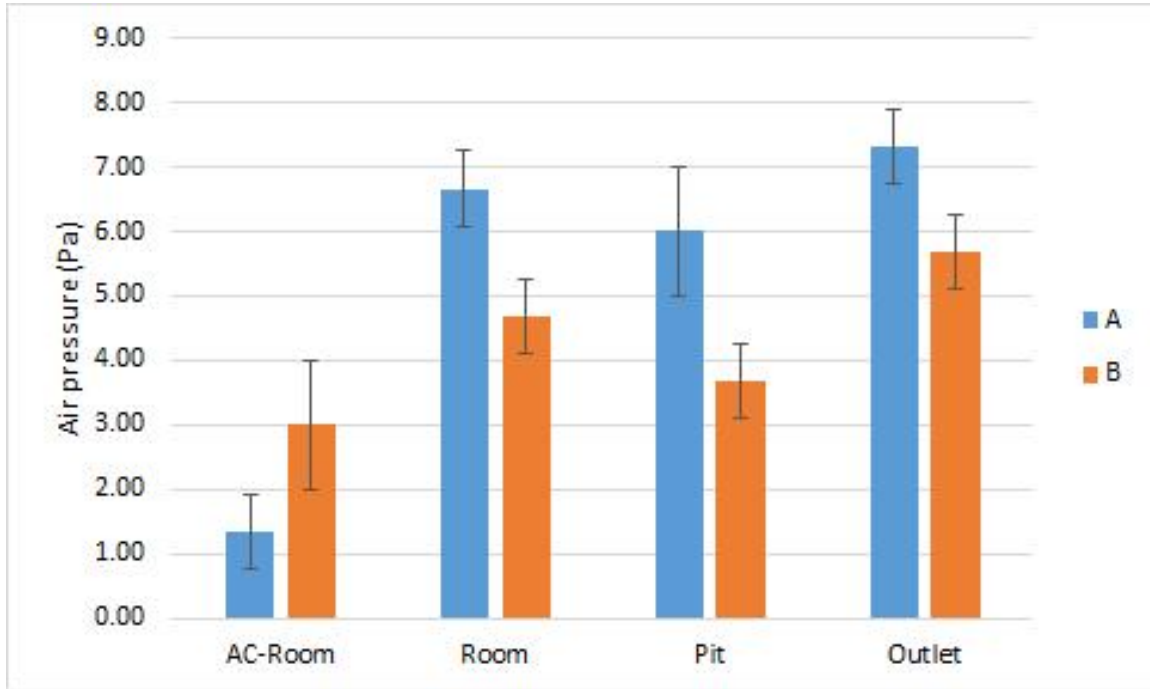


[그림 2.10] 피트 환기 음압 시스템실상도

- 피트환기시스템 (plug flow)의 음압 환기의 작동여부를 확인하기 위해 공기정압을 측정하였다. 정압(靜壓)은 [그림 2.11]과 같이 여러 지점(red dots : 공기조화실, 돼지사육실 내부, 피트 및 배출구)에서 [그림 2.11]과 같이 측정하였다.



[그림 11] 피트환기시스템 공기흐름 및 공정구성

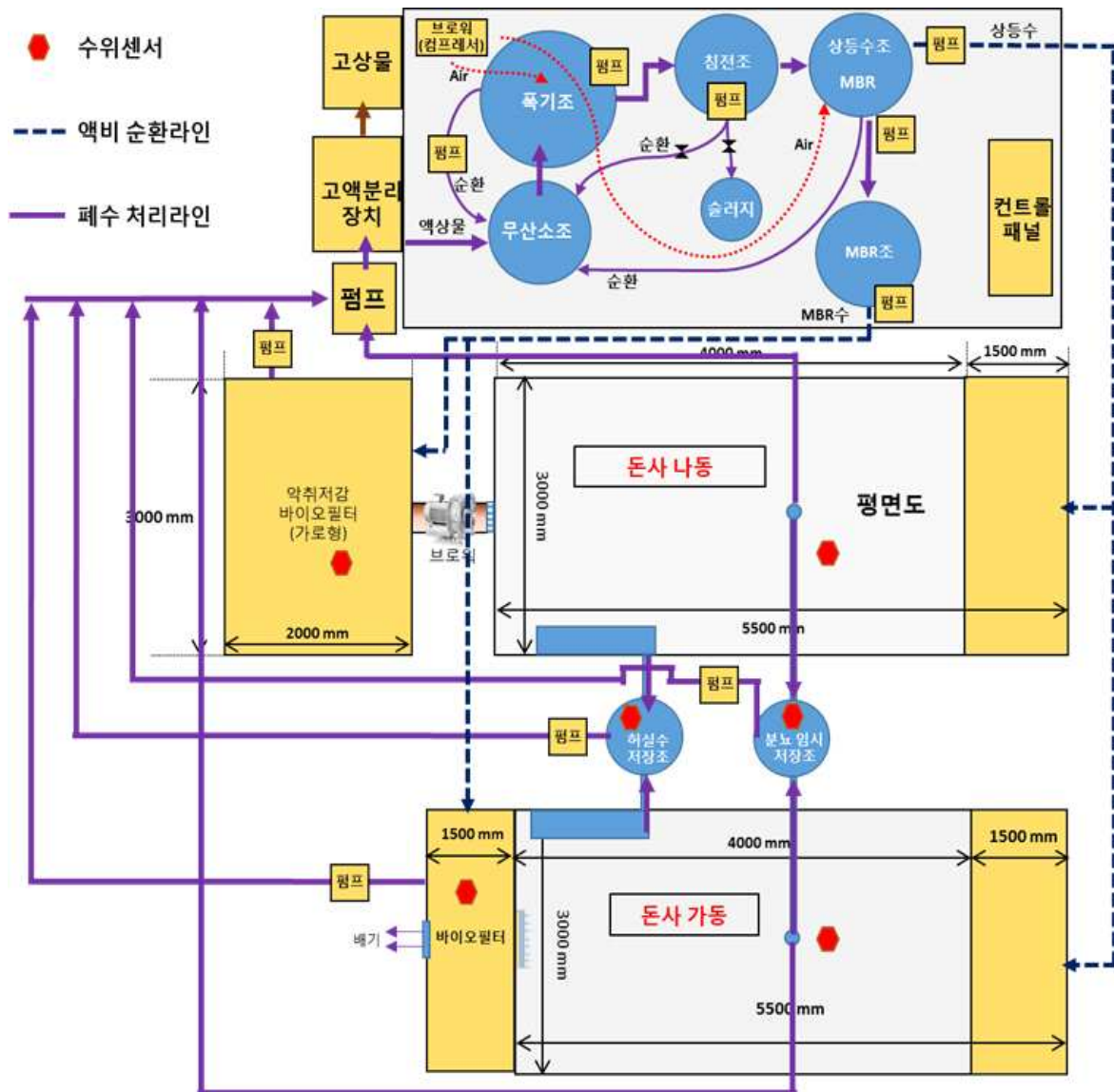


[그림 2.12] 두 유형의 환기 시스템(A형: 벽체 환기, B형: 피트 환기)의 정압변화

- [그림 2.12]에서 볼 수 있듯이 실험 결과 네 지점의 정압은 정상 작동하는 것으로 나타나 지점별 정압차이는 희석식① 팬용량은 약 250W, 비희석식② 돈사의 배기팬 용량은 130W보다 2배 정도 크므로 정압의 차이는 팬용량의 차이에 기인한다.
- B형 돈사의 사육실 및 피트의 정압은 A형 돈사보다 낮아 A형과 B형 사이의 정압차는 약 2~3 Pa로 관찰되었다. B형 돈사에서는 공기흐름이 재순환(recirculation)되지 않아 기류가 희석되지 않고 그대로 배기(排氣)되어 기존 ‘희석(dilution)’으로 정의되는 관행 환기시스템에 신개념의 환기시스템으로 특히 슬러리의 악취제어에 매우 효율적일 것으로 판단된다.
- A형 돈사에서는 관행 환기시스템으로 공기가 난류(turbulence)를 형성하여 실내에서 재순환되므로 공기질의 개선은 희석에 의한다. 본 연구에서의 지점별 정압의 차이는 별 물리적 의미가 없다. 왜냐하면 A형 돈사의 팬용량이 B형 돈사보다 2배나 크기 때문이다. 벽체 환기 시스템(희석식)에서 돈사 내 상대적 오염공기를 더욱 강하게 배출하도록 벽체간 정압차는 더 높았다. B형 돈사에서 배기는 바이오필터 출구의 바닥에서부터 위를 통과하며 기류(氣流)확산되었으며 따라서 정압이 저하되었다. 그러나 바이오필터를 통과하는 패드와 배기공기와의 접촉 시간을 길어져 바이오필터 패드에 대한 악취 제거효율은 오히려 높았다.

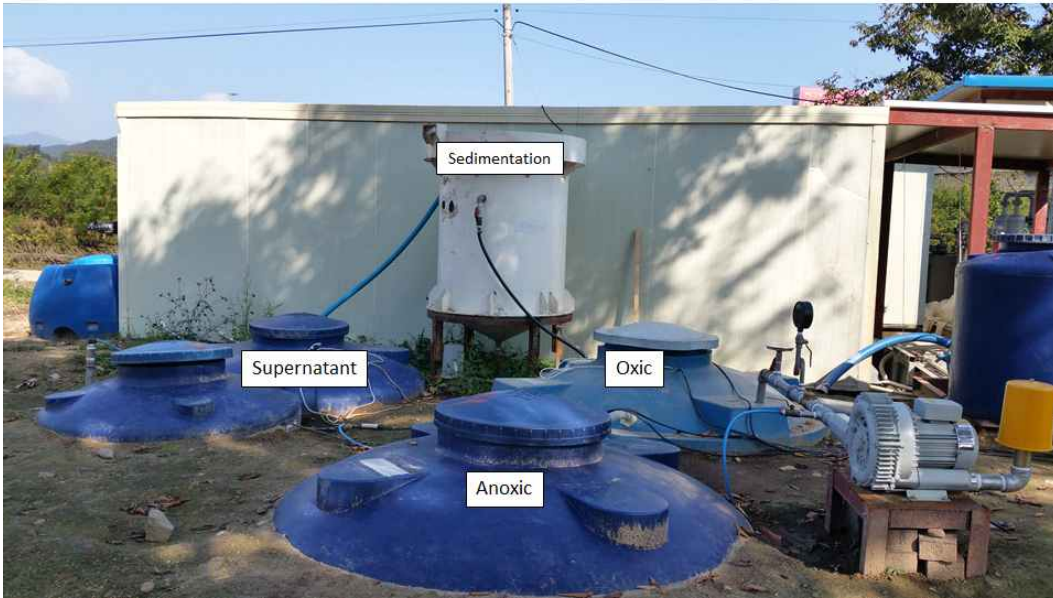
## 5. 악취저감 목적의 처리수 순환시스템

- 처리수 피트 재순환 : 피트는 기본적으로 오염원인 가축분뇨로 충전되어 있기 때문에 미생물 활동이 활발할수록 고농도 냄새의 발산도 높아지므로 처리수의 피트순환은 물리적으로 세척횟수를 늘려 악취의 농도를 저감시킨다 할 수 있다.
- 바이오필터 (BF) 재순환 : BF에 dripping water 용해된 예를 들면 냄새원인 물질인 암모니아는 패드 표면에 부착서 식하는 미생물에 의해 냄새분자인 암모니아를 먹이로 취함으로써 악취저감을 유발할 수 있다. [그림 2.13]은 돈사 근처에 설치된 생물학적 폐수 처리 시스템의 체계적인 흐름도를 나타낸다.



[그림 2.13] 실험돈사 및 바이오필터 재순환수를 위한 액비제조 시스템 계통도

Biologically wastewater treatment



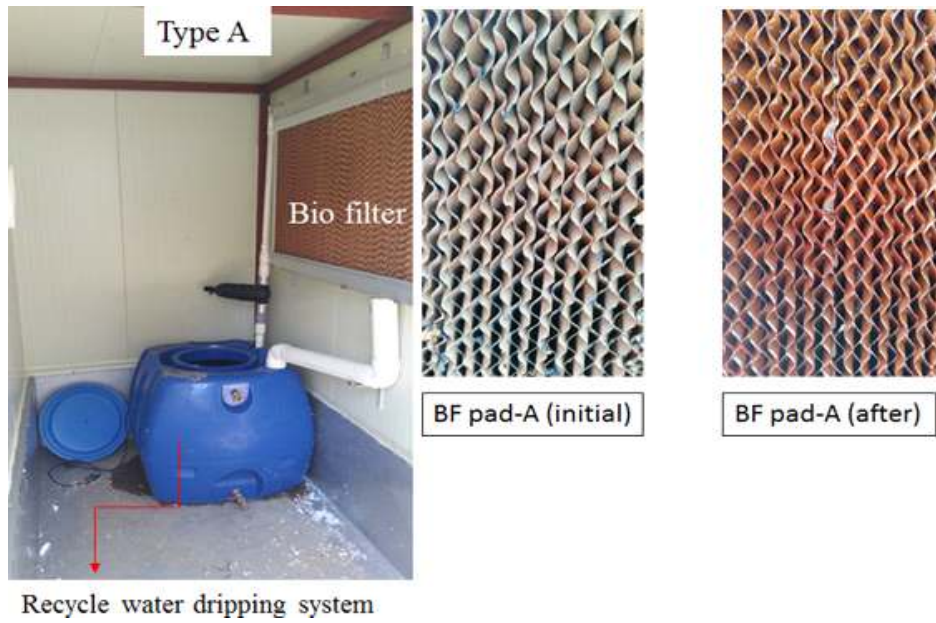
[그림 2.14a] 돈슬러리 처리를 위한 생물학적 폐수 시스템

○ [그림 2.14a]는 실험 기간 동안 배출된 돈슬러리를 처리하기 위한 지하 생물학적 폐수 시스템의 공정을 나타낸다. 미세막 처리수(MBR)는 악취저감을 위하여 바이오필터(A형 및 B형)로 순환되거나 돈사 바닥 청소수로 활용된다.



[그림 2.14b] 처리 전후의 생물학적 돈슬러리

○ [그림 2.14b]의 미세막처리수(MBR)는 바이오필터 및 돈사 청소를 위한 재순환수로 사용된다.



[그림 2.14c] A형 바이오필터 순환 장치

- A형 바이오필터 시스템의 경우 순환 장치를 바이오필터 근처 혹은 돈사 내부에 설치하고 순환 장치의 수위는 자동제어하며, 순환장치를 처리수 재활용을 위한 MBR 탱크와 연결 ([그림 2.14c])한다.



[그림 2.14d] B형 바이오필터 순환 장치

- B형 바이오필터 시스템의 경우 물 순환 장치를 돈사 외부 바이오필터 근처에 설치하여 순환 장치의 수위를 자동제어하고, 순환 장치를 처리수 재활용을 위한 MBR 탱크와 연결([그림 2.14d])한다.

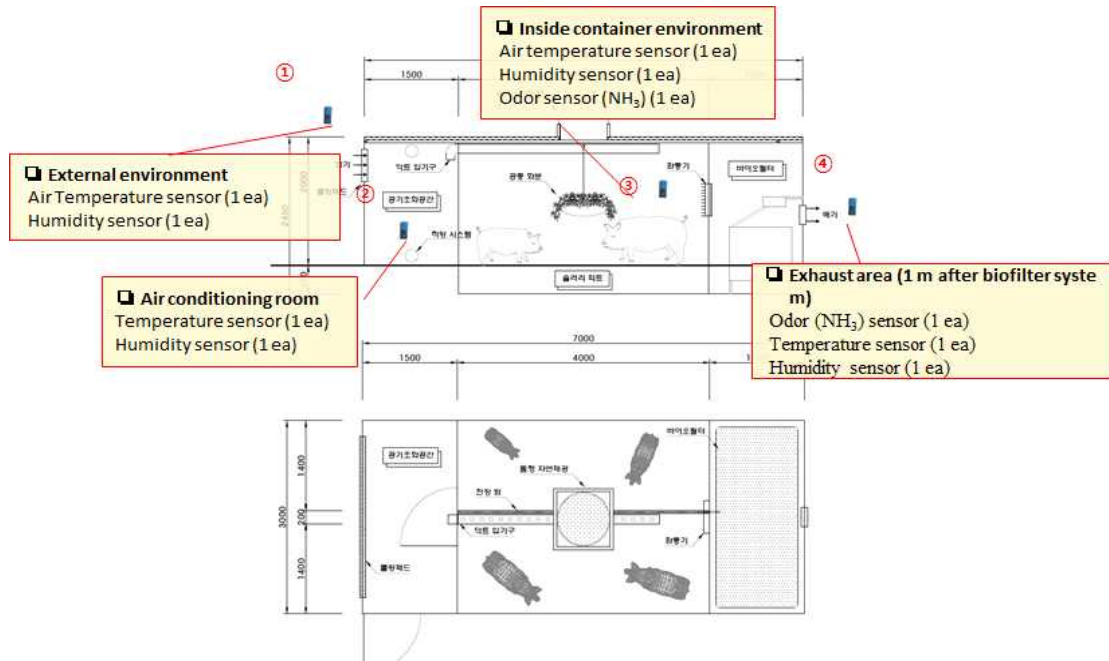
림 2.14d]된다.

## 6. ICT 시스템 적용

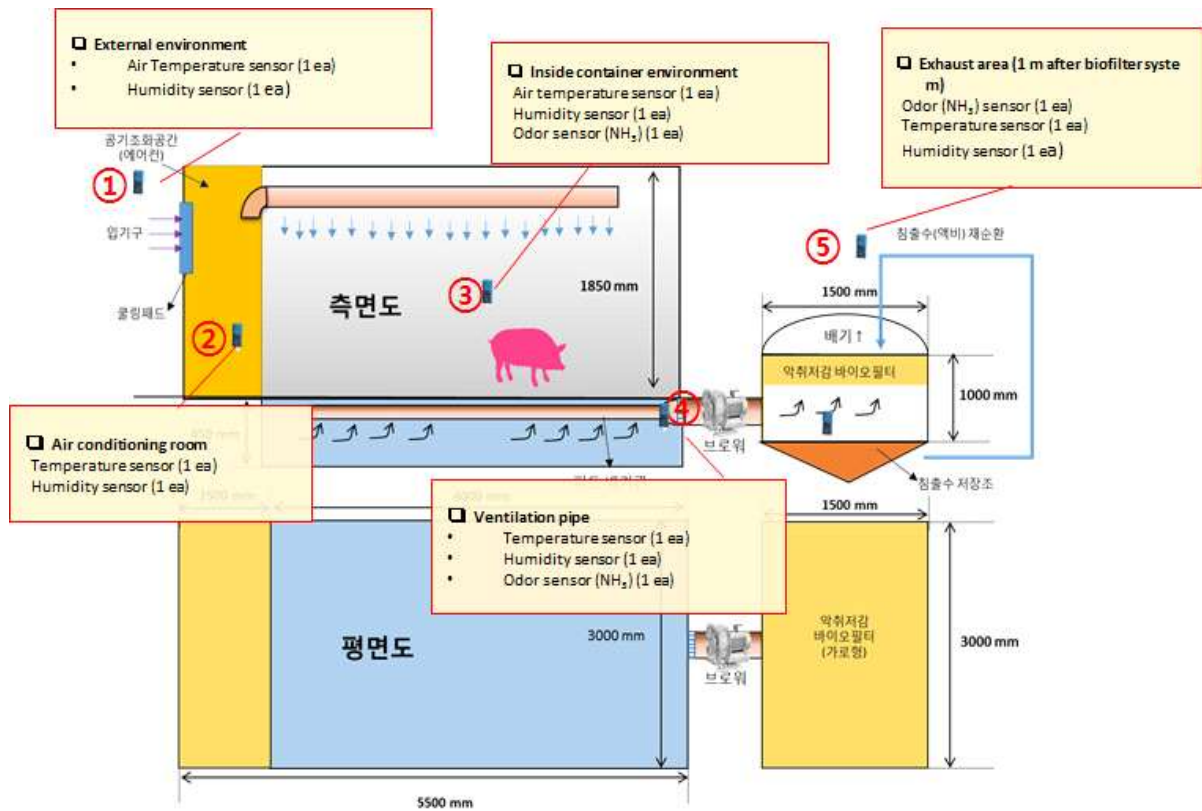
### 미세 환경(Micro environmental) 제어 규정

- 동 프로젝트는 ICT기반 통합 돈사 및 바이오필터 시스템 개발을 목표로 하며, ICT 응용 프로그램은 최적의 악취 제거 시스템 및 돼지 성장에 이상적인 조건 제공을 목적으로 한다. ICT 시스템은 [그림 2.15]과 [그림 2.16]에 제시된 것처럼 두 가지 다른 유형의 돈사에 적용되어 검사(test)되고 있다.
- [그림 2.15]은 벽체 환기가 적용된 실험돈사 가동의 스케치도이며, 실험돈사 가동은 공조실, 돼지 사육실 및 바이오필터로 구성되며, 실험돈사 나동은 공기조화실, 돼지 사육실, 지하 바이오필터로 구성 된다
- 실험돈사 가동①과 나동②의 차이점은 환기 및 바이오필터 시스템 형태에 있다. 실험돈사 가동①에서는 벽에 설치된 배기팬을 통해 돼지 사육실 내부의 공기를 바이오필터로 배기하는 벽체 환기시스템이며, 바이오필터 패드는 바깥벽에 수직으로 설치되어 내부 공기는 외부 환경으로 배출되기 전에 바이오필터 패트를 거쳐 완전배기 되게 하였다. 처리수는 바이오필터 패드 dripping water을 위해 재순환된다. 벽체 환기시스템은 회석식 환기 시스템이라고도 불리는데, 외부에서 돼지 사육실로 유입되는 공기와 돼지 사육실에서 외부로 배출되는 공기가 혼합되기 회석되기 때문이다.
- 실험돈사 나동②에서는 피트 환기시스템으로 공조실에서 음압으로 공기 덕트 유입구를 통해 유입된 공기는 피트의 headspace 배기덕트를 통해 배출된다. 바이오필터 패트는 지하에 수평으로 설치되며 처리수를 살수(撒水)한다.





[그림 2.15] 실험돈사 가동① (벽체 환기 + 바이오필터)



[그림 2.16] 실험돈사 나동② (피트환기 + 지하 바이오필터)

### 미세 환경 정보 획득을 위한 검출(sensing) 시스템

○ 측정 기구 및 장비 시스템은 ICT 시스템에서 중요한 부분 중 하나이며 특히 돈사에서는 모니터링 및 데이터 수집 측면에서 중요하다. [그림 2.17]는 데이터 입출력 구성 및 알고리즘

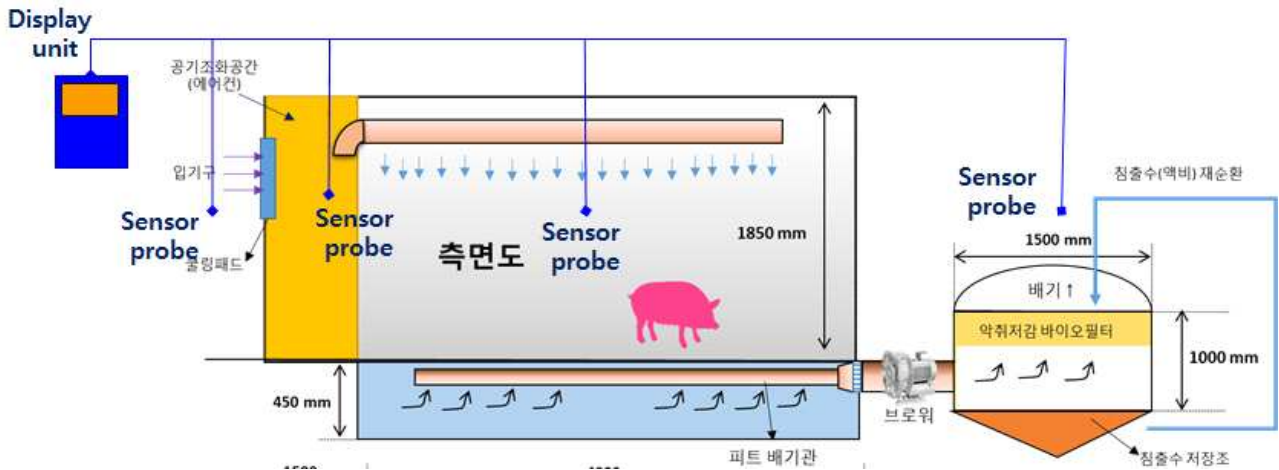
을 사용하여 진행되는 ICT 센서 모니터링의 기본 흐름도를 나타낸다. 수행 데이터 (proceeding data)는 돈사 내 이상적인 미기상(microclimate) 상태 달성을 위한 공정 실행에 사용된다. 데이터 입력 및 데이터 출력은 기구 또는 센서에 의해 자동으로 요구된다.



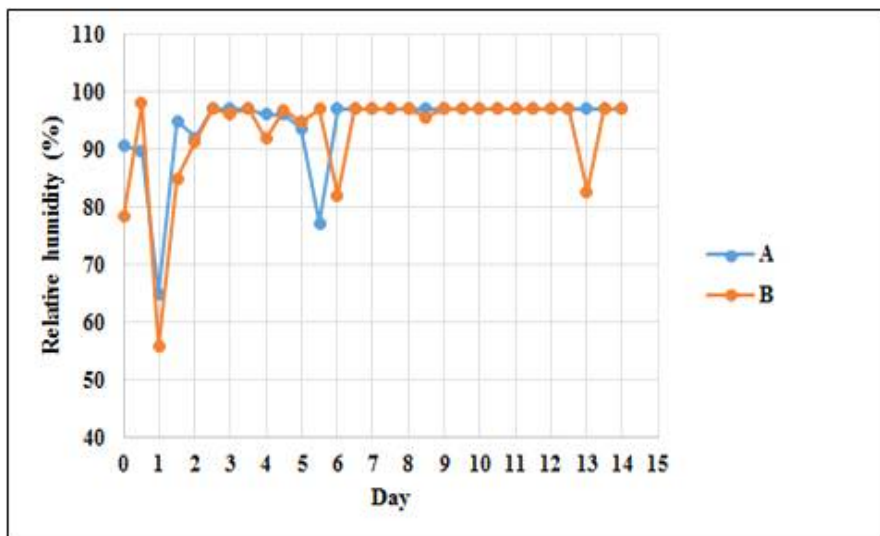
[그림 2.17] 돈사에 적용된 ICT의 기본 흐름도

### 돈사의 문제 사례들

- 최적 돼지 사육 환경을 정확히 제어하기 위해서는 환경 변수 데이터를 수집해야 한다. 돈사 내 여러 지점 데이터를 빈번히 수집해야하기 때문에 많은 센서가 필요하다. 이 때 효율성과 실용성을 고려해야 한다.
- 돈사 내부는 일반적으로 다습(多濕) 환경인데, 이러한 환경 조건에 대한 측정 기기의 감도가 저하되기 때문에 습한 환경은 측정 작업을 제한하는 요소 중 하나이다. 습한 환경에 장기간 노출되면 센서의 정확도와 내구성이 떨어진다.
- 예를 들어 전기 화학적 암모니아 센서 측정기는 습도 75 % 이상에서 암모니아를 정확하게 판독할 수 없으며 수명이 감소하므로 비싸고 정확도가 낮은 제어로 이어질 수 있다. 그러나 돈사 내부 환경 조건을 바꿀 수 없기 때문에 보다 개선된 ICT 응용을 위해서는 내구성 및 정확도가 높은 측정 시스템이 요구된다. 그 밖에 측정 기기가 다습한 환경에 지나치게 많이 혹은 오래 노출되는 것을 피하거나 측정 주기를 줄이는 방법 등도 고려될 수 있다.
- [그림 18]은 본 연구 돈사 내 센서 배치를 나타낸다. 일반적인 방법으로 암모니아와 같은 매개 변수를 탐지하는 센서가 돈사 내부에 배치된다. 이 때 센서는 과습(過濕) 환경에 항상 노출되므로 응축수가 측정기에 떨어져 감도가 떨어지거나 센서의 손상을 가져올 수 있다



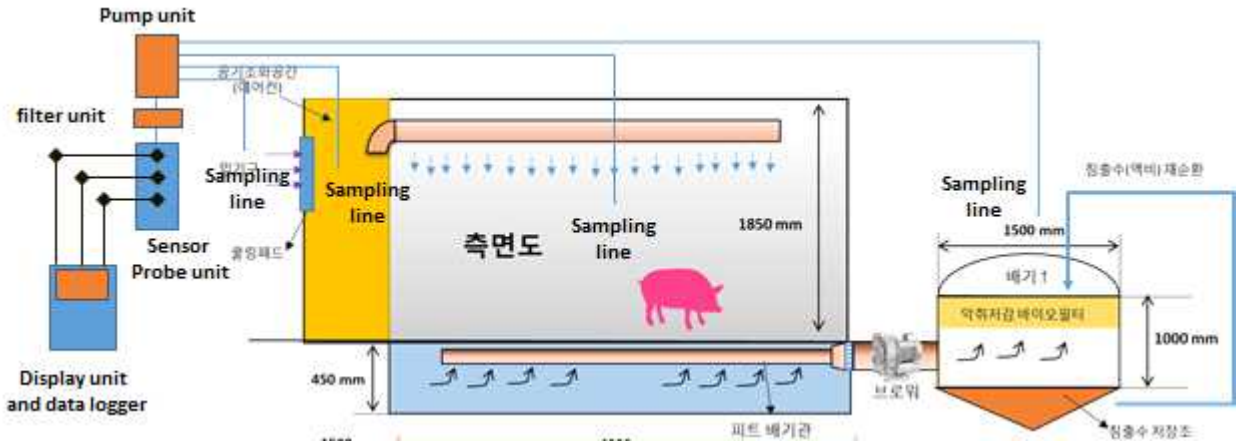
[그림 2.18] 일반적인 센서 측정기, display unit 및 데이터 기록 장치 구성



[그림 2.19] 파일럿 실험 장소에서 15 일간의 시험 중 돈사 상대 습도(실험돈사 가동) : 수직 바이오 필터 시스템을 이용한 벽 환기; (실험돈사 나동) 지하 바이오 필터 시스템을 갖춘 수정(modified) 피트 환기

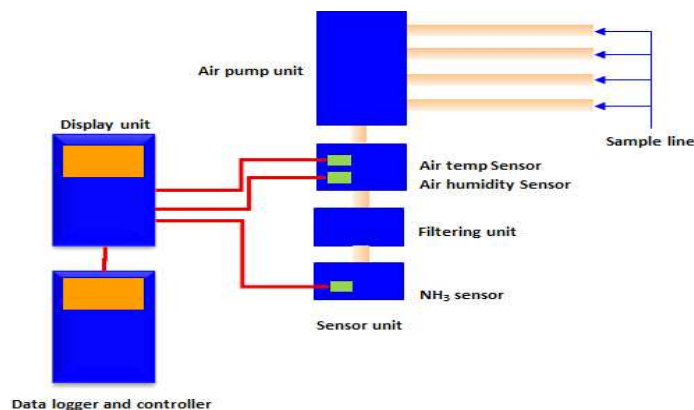
○ [그림 2.19]에 따르면 돼지 돈사 내부는 항상 다습(多濕)한 것으로 나타났으며 이는 측정을 계속하기 위해서는 내구성이 높은 센서가 필요함을 의미하지만 내구성이 높은 센서를 구매할 경우 구입비가 높아지는 문제점이 있다.

### 정확도 및 내구성 향상을 위한 돈사 문제 사례 해결

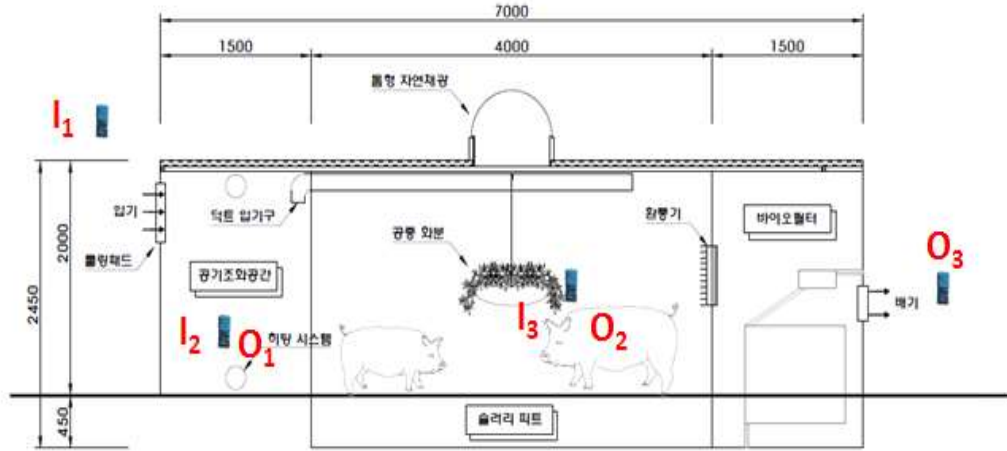


[그림 2.20] 수정된 센서 측정기, display unit 및 데이터 기록 장치 구성

- 센서의 약한 내구성을 해결하기 위해서는 센서 구성을 수정해야 한다. [그림 2.20]은 센서 정확성과 내구성을 높이기 위해 센서, display unit 및 data logger로 구성되어 있다. 이 구성도에서 센서는 on-site 샘플링 지점이 아니라 튜브유도하여 외부에서 측정함으로써 유해(有害)상태에 노출되는 시간을 최소화함으로써 센서의 내구성을 높이려 착안하였다.
- 샘플링을 수행하기 위해 펌프 시스템은 샘플링 지점에서 분석 chamber의 튜브를 통해 흡입한다. 센서는 분석 챔버에 설치되었기 때문에 센서 측정기는 돼지 돈사 내 공기에 항상 노출되지는 않는다. 센서 측정기는 샘플링 및 측정 시간이 지나면 대기공기에 노출시켜 내구성을 향상시킨다.
- 두 유형의 환기 시스템 및 바이오필터 시스템을 갖춘 돈사의 ICT 시스템에서 데이터 수집 및 표시를 위한 입력 및 출력 매개 변수 위치가 [그림 2.22] 및 [그림 2.23]에 나타나 있다. 실험돈사 가동①의 경우 입력 매개 변수는 공기조화실에 들어가기 전 외부( $I_1$ ), 공기조화실( $I_2$ ), 사육실에 위치한다. 출력 매개 변수는 공기조화실( $O_1$ ), 사육실 ( $O_2$ ) 및 바이오필터 시스템( $O_3$ )에 위치한다. 입력 및 출력 매개 변수에 대한 자세한 설명은 [표 2.3] 및 [표 2.4]에 주어져 있다.



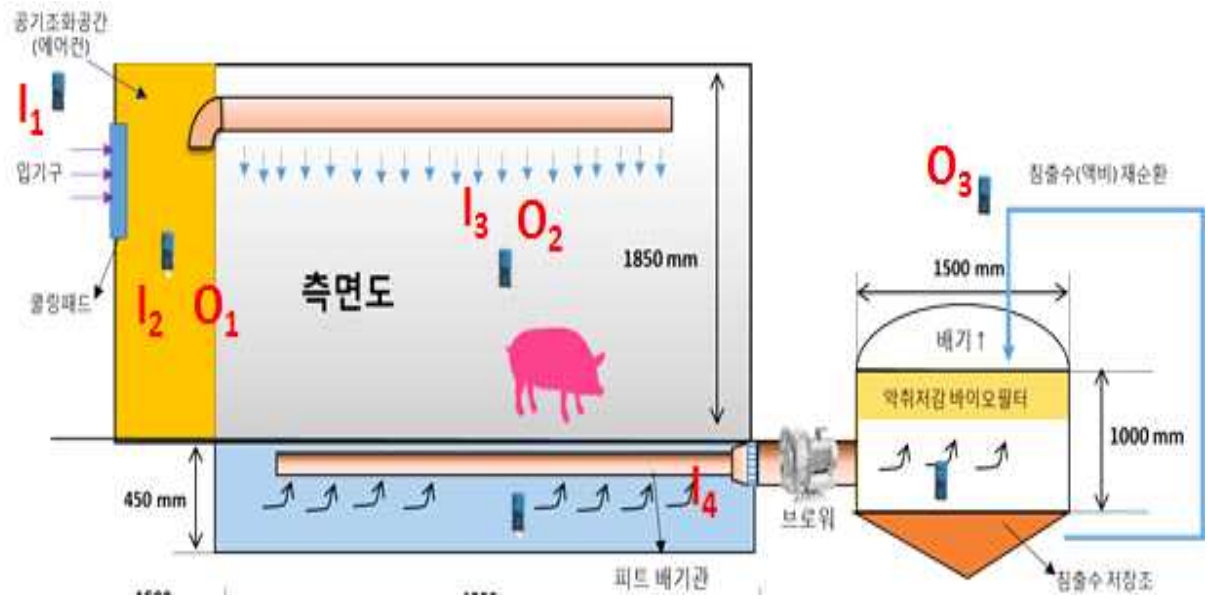
[그림 2.21] 내구성 및 정확성 향상을 위한 센서 구성



[그림 22] ICT 측정 시스템에 대한 실험돈사 가동④의 입력 및 출력 매개 변수

[표 2.3] 실험돈사 가동④의 ICT 시스템의 입력 및 출력 매개 변수 출처

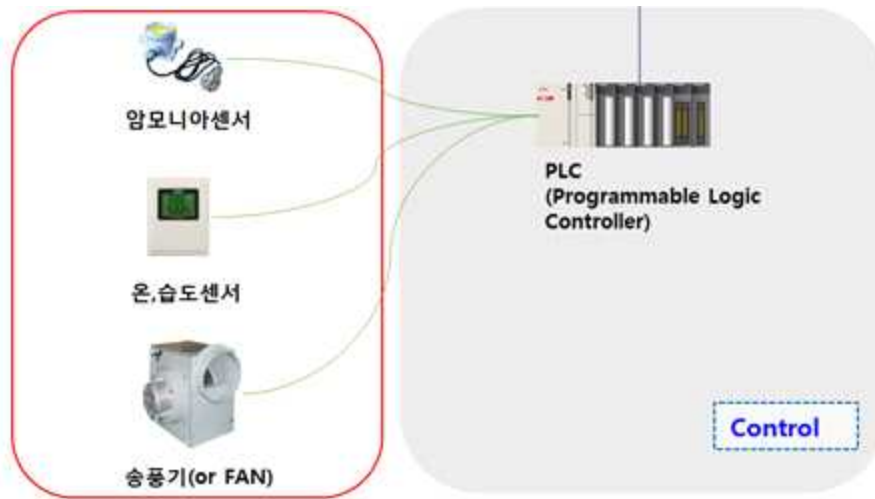
입력	위치	매개 변수
I <sub>1</sub>	외부 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>외부 공기 온도</li> <li>외부 공기 습도</li> </ul>
I <sub>2</sub>	공기조화실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> </ul>
I <sub>3</sub>	돼지 사육실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>
출력	위치	매개 변수
O <sub>1</sub>	공기조화실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> </ul>
O <sub>2</sub>	돼지 사육실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>
O <sub>3</sub>	출구 바이오필터	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>



[그림 2.23] ICT 측정 시스템에 대한 실험돈사 나동⑥의 입력 및 출력 매개 변수

<표 2.4> 실험돈사 나동⑥의 ICT 시스템의 입력 및 출력 매개 변수 출처

입력	위치	매개 변수
I <sub>1</sub>	외부 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>외부 공기 온도</li> <li>외부 공기 습도</li> </ul>
I <sub>2</sub>	공기조화실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> </ul>
I <sub>3</sub>	돼지 사육실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>
I <sub>4</sub>	배기 피트 환기 덕트	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>
출력	위치	매개 변수
O <sub>1</sub>	공기조화실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> </ul>
O <sub>2</sub>	돼지 사육실	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>
O <sub>3</sub>	출구 바이오필터	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 온도</li> <li>공기 습도</li> <li>암모니아</li> </ul>



[그림 2.24] 돈사 내 팬 컨트롤러 및 온도 센서

- 현재 돈사 온도를 유지하기 위한 한국의 자동 팬 컨트롤러는 [그림 2.24]과 같이 개발되어 있다. 그러나 이 시스템은 사용자 설정에 의해 운영되고 내부 온도가 한계 설정을 벗어날 때 사용자에게 알리는 정보 시스템이 유일한 피드백이다.



[그림 2.25] ICT 시스템에서 자료 수집을 위한 센서.

A: 온/습도 센서; B: 암모니아 센서

- [그림 2.25]은 ICT시스템을 위한 센서 장치를 나타낸다. 요구 매개변수로는 온도, 습도, 암모니아 및 CO<sub>2</sub> 등이 있다. 온도, 습도, 암모니아 및 CO<sub>2</sub>와 관련된 현재 상태에 대한 정보는 최적의 환기율을 결정하는데 활용되며, 돼지 성장에 적합한 최적의 돈사 환경 조건 제공을 위해서는 최적의 환기율을 유지할 필요가 있다.

### 돈사 내 적정 온도 제어 알고리즘(Algorithm)

- 돈사 내부의 적정 온도를 제어하는 알고리즘은 환기율 결정을 위한 에너지 균형 방정식을

기반으로 개발되었으며 다음 장(章)에서 설명한다. 이 시스템은 현재의 내부 가축 상태와 이상적인 환경 요구 사항을 기반으로 실행된다.

### 알고리즘 1. 돈사정밀온도제어 알고리즘

Step 1. 시작

Step 2. 가축의 평균체중, 가축수 입력

Step 3. 축사크기 입력

Step 4. 일반사항 변수 : DATA 1 에 자료입력

Step 5. DATA 1 저장된 자료와 가축의 표준체중자료 비교 보완

Step 6. DATA 2 지정된 가축사육단계에 따른 설정온도 비교보완

Step 7. 외부환경 변수: 외기온( $t_o$ ), 외기습도 ( $h_o$ )감응

Step 8. 외부변수 입력(DATA 7)

Step 9. 내부환경 : 내부온도( $t_i$ ), 내부습도 ( $h_i$ )감응

Step 10. 내부변수 입력 (DATA 8)

Step 11. DATA 1 에서 돈사둘레(house perimeter length,P) 산정

Step 12. DATA 1 에 저장된 일반사항변수와 Step 9 내부변수로써 돈사바닥을 통한 열손실 ( $q_f$ ),식 (2) 산정

Step 13. 식(3)을 이용하여 벽체 열전도율 (thermal conductance : UA walls) 산정

Step 14. 식(3a)를 통하여 천정 열전도율 (thermal conductance : UA ceiling) 산정

Step 15. 식(4)를 통한 돈사의 천정, 벽을 통한 열손실 heat loss thr the building structure ( $q_w$ )산정

Step 16. 식(5)를 통한 가축의 현열 sensible heat gains ( $q_s$ ) 산정

Step 17. 식(6)을 통한 소요 환기율 vent rate(*required*  $\dot{V}$ ) 산정

Step 18. 식(17)에 의해 산정된 소요환기율 DATA 17 에 입력

Step 19. 팬 정보입력

Step 20. 소요환기율과 팬정보 (성능 및 개수 등) 비교 평가

Step 21. Is (*current*  $\dot{V}$ ) = (*required*  $\dot{V}$ ) If yes, 팬속도 유지, if no, 다음단계로 넘어감

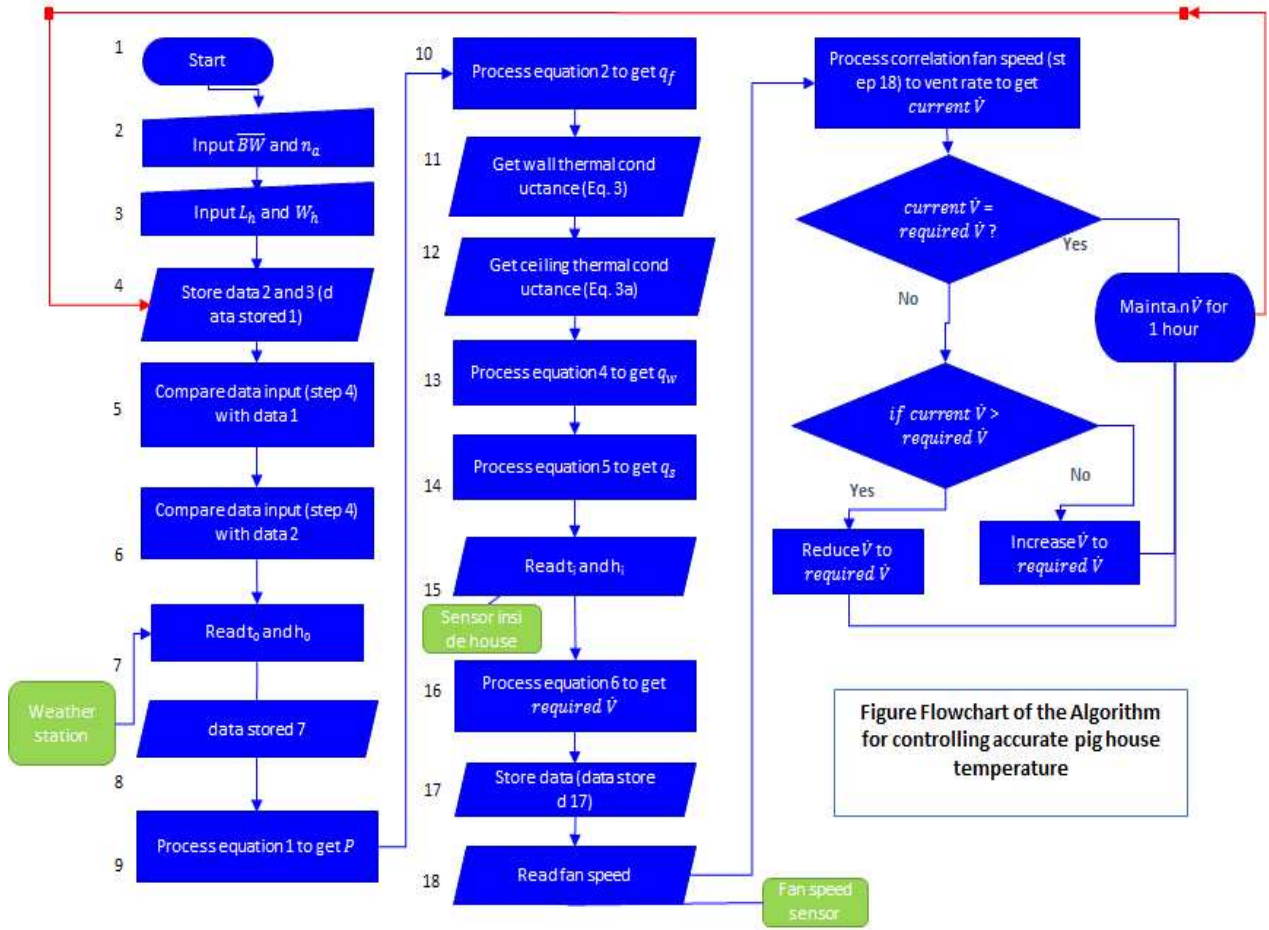
Step 22. If (*current*  $\dot{V}$ ) > (*required*  $\dot{V}$ ) 경우, 팬속도 감소

Step 23. If (*current*  $\dot{V}$ ) < (*required*  $\dot{V}$ ) 속도 증가

Step 24. 매시간 (steady-periodic) 설정온도, 습도를 고려한 적정환기율 검증

Step 25. 매시간 알고리즘 Step 4 되돌아감





[그림 2.26] 알고리즘 1 흐름도 (정밀돈사 환경(온도)제어)

변수설명

$\overline{BW}$  : 가축생체정보 (초기 평균체중, 가축일령)

$n_a$  : 가축수

$L_h$  : 돈사길이

$W_h$  : 돈사폭

$H_h$  : 돈사높이

### 돈사정밀온도제어를 위한 알고리즘 설명

Step 1. 사용자에게 의한 시스템 실행

Step 2. 사용자는 돈사 내에서 사육되는 가축의 생체정보(가축 체중, 가축수)와 시간(시간, 날짜)에 대한 정보를 입력. 데이터 입력 프로세스는 키보드를 사용하여 수동으로 수행됨. 시간 데이터 입력은 제로 데이 데이터(zero day data)로 사용됨.

- Step 3.** 입력이 요구되는 데이터 차원으로는 돈사길이, 돈사폭 및 돈사높이가 있음. 이러한 특성들은 주변 길이, 벽체 및 천장 면적을 산출하는데 필요함
- Step 4.** 사용자가 입력한 데이터는 DATA 1 디스크에 변수 데이터베이스로 저장됨
- Step 5.** 추가 자동 식별, 처리 및 제어를 위해 Step 4의 입력 데이터를 일일 평균 돼지 성장률 데이터베이스 (DATA 1)의 표준 값과 일치시킴
- Step 6.** 추가 자동 식별, 처리 및 제어를 위해 Step 5의 정보가 이상적으로 성장하는 돼지에 게 지정된 표준 요구 온도 값과 일치시킴 (DATA 2)
- Step 7.** 외부 온도 ( $t_o$ )와 습도 ( $h_o$ )에 대한 정보는 매시간 지속 시간을 직접 수집하는 방법을 통해 현장에 설치된 센서 시스템에 의해 자동으로 수집됨
- Step 8.** Step 7에서 수집된 외부 온도 ( $t_o$ ) 및 습도 ( $h_o$ )에 대한 정보는 추가 처리를 위해 DATA 7로 저장됨
- Step 9.** 외부 온도 ( $t_i$ ) 및 습도 ( $h_i$ )에 대한 정보는 매시간 지속 시간을 직접 수집하는 방법을 통해 현장에 설치된 센서 시스템에 의해 자동으로 수집됨
- Step 10.** Step 9에서 수집된 외부 온도 ( $t_i$ ) 및 습도 ( $h_i$ )에 관한 정보는 추가 처리를 위해 DATA 9로서 저장됨
- Step 11.** 돈사 내부 온도를 제어하려면 몇 가지 변수가 필요함. 정확하고 이상적인 돈사 온도 제어를 위한 최적의 환기율을 계산하기 위해 환기율 방정식으로 수정된 에너지 균형 방정식이 사용됨. 먼저 식 1을 통해 돈사둘레(P) 변수를 구한다. 돈사둘레 정보는 이후 프로세스에서 환기율을 추정하는데 사용됨. 돈사둘레 정보는 돈사 길이 (L) 변수 및 폭 (W) 변수를 사용하여 식 1에서 산출
- Step 12.** 환기율 추정에 필요한 다음 변수는 돈사둘레 열손실 ( $q_f$ )로 식 2에 의해 계산됨. 바닥 열손실 계수(F) 변수는 이전의 경험적 연구를 토대로 1.5W/mK로 확인됨. 돈사둘레 변수 정보는 이전 단계 (Step 9)에서 얻음. 외부 온도 ( $t_o$ )와 내부 온도 ( $t_i$ )는 센서 판독을 통해 온라인에서 얻은 입력 데이터 저장(DATA 7)에서 얻음
- Step 13.** 돈사 열 컨덕턴스(thermal conductance)가 환기율을 계산하기 위해 필요하므로 돈사 열 컨덕턴스를 계산하기 위해 벽체 열 컨덕턴스가 필요함. 벽체의 R-값은 2.05 m<sup>2</sup>K/W로 확인되며, 면적(A)은 길이와 높이의 곱으로 산출. 벽체 면적을 계산하려면 돈사 길이와 높이가 필요함. 돈사둘레 데이터는 Step 11로부터 얻어지고 높이 정보는 DATA1로부터 얻어짐
- Step 14.** 총 돈사 열전도도는 벽체와 천장에서 얻어지므로 벽체 열전도도가 계산된 후 다음 단계로 천장 열전도도를 계산. 천장의 R-값은 1.97 m<sup>2</sup>K/W로 확인됨. 천장 면적은 돈사 길이와 폭을 곱하여 계산. 돈사 길이 및 폭에 대한 정보는 DATA 1에서 얻어짐
- Step 15.** 돈사 구조로부터의 열손실은 식 4에 의해 추정됨. 돈사의 전체 전도도는 Step 13 및

14에서 얻어진 벽체 및 천장 열전도도를 합하여 얻어짐. 내부 및 외부 온도 정보는 DATA1 으로부터 얻어짐

- Step 16.** 다음으로 가축에 의한 현열( $q_s$ )을 추정.  $q_s$ 를 산정하기 위해 개체 당 또는 체중 kg 당 SHP의 현열 생산에 관한 정보, 돈사 내 가축의 수(LA) 및 kg/ 마리 단위의 가축 평균 체중(BW)이 필요함. 돼지의 SHP는 체중이나 성장 단계에 따라 다르나, 단 순화하기 위해 3W/kg로 설정됨. 차후 돼지의 성장 단계에 따라 SHP를 더 세분화할 예정임. LA 및 표준 체중에 관한 데이터는 DATA1 에서 얻어짐
- Step 17.** 다음으로 소요 환기률( $required \dot{V}$ )을 추정.  $q_s$ 값은 Step 16에서 얻어지며,  $q_m$ 은 선택 사항이지만, 실제 상황에서  $q_m$ 이 무시될 수 있으므로 이 식에서는  $q_m$ 이 0이라고 가정함.  $q_f$ 는 Step 12에서 얻어짐
- Step 18.** Step 17에서 얻은 ( $required \dot{V}$ ) 데이터가 DATA 17로 저장됨. 환기율을 조절하기 위해 돈사 내부로 유입되는 공기에 직접 적용되는 팬 속도를 변경할 수 있음. 따라서 팬 속도와 환기율의 상관관계가 필요함. 소요 환기율을 계산한 후 현재 실행 속도 상황과 환기율을 일치시킴
- Step 19.** 팬 속도를 RPM 단위로 측정
- Step 20.** 다음으로 RPM의 현재 팬 속도를  $m^3/sec$ 단위의 현재 환기율 값( $current \dot{V}$ )으로 변환. 팬의 RPM 값과 제공된 데이터베이스의 환기율 값을 비교하여 변환함.
- Step 21.** ( $required \dot{V}$ )와 ( $current \dot{V}$ )를 비교. 추가 실행을 위해서는 ( $required \dot{V}$ )가 ( $current \dot{V}$ )와 유사한 지 여부에 대한 정보가 필요함. ( $required \dot{V}$ )가 ( $current \dot{V}$ )와 비슷한 경우 팬 속도는 다음 1 시간 동안 유지되지만 유사하지 않으면 다음 단계로 진행해야 함
- Step 22.** ( $required \dot{V}$ )가 ( $current \dot{V}$ ) 보다 높으면 팬 속도를 의 수준으로 낮춰야 하지만 그렇지 않은 경우 다음 단계로 넘어감
- Step 23.** 이 단계에서 ( $required \dot{V}$ )가 ( $current \dot{V}$ ) 보다 낮아야 하므로 팬 속도를 ( $required \dot{V}$ )의 수준으로 높여야 함
- Step 24.** 다음 1 시간 동안 팬 속도를 유지
- Step 25.** 실제 팬 속도 조정이 1 시간마다 실행됨

### 돈사정밀온도제어를 위한 알고리즘의 방정식

Equation 1:

$$P = 2L + 2W$$

Equation 2:

$$q_f = FP(t_i - t_o)$$

Equation 3.

$$UA_{walls} = A/R$$

Equation 3a.

$$UA_{ceiling} = A/R$$

Equation 4.

$$q_w = \sum_n (A/R)_n (t_i - t_o)$$

Equation 5.

$$q_s = SHP \times LA \times BW$$

Equation 6.

$$\dot{V} = \frac{q_s + q_m - q_f - q_w}{C_p \rho (t_i - t_o)}$$

Equation 1:

$$P = 2L + 2W$$

P: Perimeter, m

L: Building length, m

W: Building width, m

Equation 2:

$$q_f = FP(t_i - t_o)$$

$q_f$ : heating loss through perimeter (floor), in W

P: Perimeter, in m

F: Floor heat loss factor, in W/m.K, 1.5 W/m K

$t_i$ : Inside temperature, in K

$t_o$ : Outside temperature, in K

Equation 3.

$$UA_{walls} = A/R$$

$UA_{walls}$  : Thermal conductance of walls, in W/K

A : Walls area, in m<sup>2</sup>

R : Walls resistance value, in m<sup>2</sup>K/W, 2.05 m<sup>2</sup>K/W for walls

Equation 3a.

$$UA_{ceiling} = A/R$$

$UA_{ceiling}$  : Thermal conductance of ceiling, in W/K

A : Ceiling area, in m<sup>2</sup>

R : Ceiling resistance value, in m<sup>2</sup>K/W, 1.97 m<sup>2</sup>K/W for ceiling

Equation 4.

$$q_w = \sum_n (A/R)_n (t_i - t_o)$$

$q_w$  : Structural heat loss, in W

$\sum (A/R)$  : Overall conductance of the building, W/K

$t_i$  : Inside temperature, in K

$t_o$  : Outside temperature, in K

Equation 5.

$$q_s = SHP \times LA \times BW$$

$q_s$  : Sensible heat production by livestock, in W

SHP : Sensible heat production, in W/kg

LA : Amount of livestock presents, in head

BW : Average livestock body weight, in kg/head

Equation 6.

$$\dot{V} = \frac{q_s + q_m - q_f - q_w}{C_p \rho (t_i - t_o)}$$

$\dot{V}$  : Ventilation rate, in m<sup>3</sup>/s

$C_p$  : Specific heat of dry air, in J/kg.K (1,006 J/kg.K)

$q_s$  : Sensible heat production by livestock, in W

$q_w$  : Structural heat loss, in W

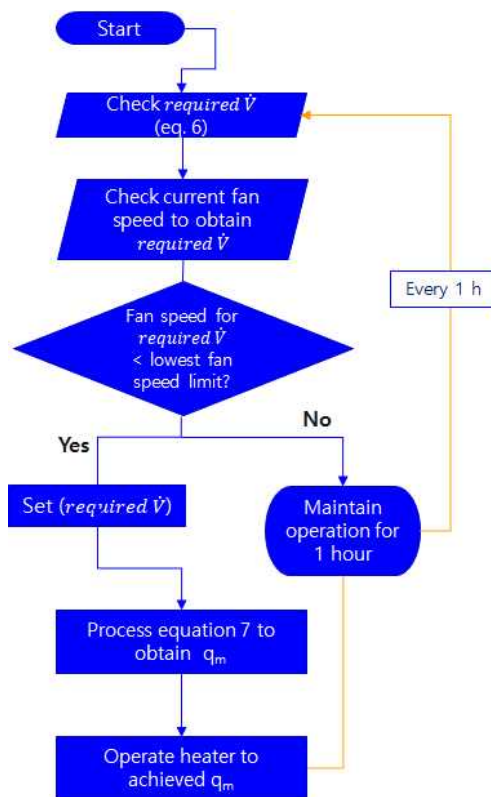
$q_f$  : Heat loss through perimeter (floor), in W

$q_m$  : Mechanical heat gain, in W (optional)

$\rho$  : Air density, in kg/m<sup>3</sup> (1.2 kg/m<sup>3</sup>)

알고리즘 2. 돈사 공기조화실 가온(加溫)을 위한 알고리즘

- Step 1. 시작
- Step 2. 식(6) 에서 소요환기율 산정
- Step 3. 팬용량이 소요환기율을 만족여부 평가, if (yes) 'heating(가온)필요' step 4 수행, if (no) 'heating(가온) 불필요' step 7 으로 넘어감
- Step 4. 최소환기율 ( $required \dot{V}$ ) 설정
- Step 5. 식 (7)에서 가온량 산정  $q_m$
- Step 6. 가열기 가동 설정온도에 도달
- Step 7. 매시간 외기온 변화에 따른 소요환기율 산정을 위하여 Step 2 로 되돌아감



[그림 2.27] 공기조화실 가온알고리즘 흐름도

**공조실 가온(加溫)알고리즘 설명**

- Step 1. 사용자가 온도를 제어하기 위해 시스템을 실행하는 동시에 사용자가 작업하도록 시스템이 자동으로 실행됨. 외부 온도가 대부분 낮은 겨울철에는 난방 시스템이 자동으로 활성화됨
- Step 2. 식(6)에서 소요환기율 산정
- Step 3. 다음으로 팬 속도를 확인하고 팬 속도를 현재 환기율로 변환한 다음 소요 환기율과 비교. 소요 환기율이 팬이 제공한 최소 한도 환기율(최소 팬 속도 제한)보다 낮으면

Step 4로 진행하고 그렇지 않으면 다음 1 시간 동안 현재 작동을 유지

- Step 4.** 소요 환기율이 최소 한도 환기율보다 낮으면 최소 한도 환기율을 소요 환기율로 설정함
- Step 5.** 새로운 소요 환기율이 설정되어 식 7을 통해 값을 계산함.  $q_s$ ,  $q_f$ ,  $q_w$ ,  $C_p$ ,  $p$ ,  $t_i$  데이터는 값이 유사하기 때문에 식 6으로부터 얻어짐. Step 4에서 얻어진 새로운 데이터 세트 V가 사용됨
- Step 6.** 다음으로 Step 5에서 얻은  $q_m$  정보를 바탕으로 공기조화실의 공기 증발식 난방 시스템을 활성화하고 다음 1 시간 동안 난방 작동을 유지함
- Step 7.** 1 시간 작동 후, Step 2 로 돌아가서 모든 단계를 계속 수행  
**공기조화실 가온(加溫)알고리즘 흐름도의 방정식**

Equation 7.

$$q_m = q_s - q_f - q_w - \dot{V}C_p\rho(t_i - t_o)$$

$\dot{V}$  : Ventilation rate, in m<sup>3</sup>/s

$C_p$  : Specific heat of dry air, in J/kg.K (1,006 J/kg.K)

$q_s$  : Sensible heat production by livestock, in W

$q_w$  : Structural heat loss, in W

$q_f$  : Heat loss through perimeter (floor), in W

$q_m$  : Mechanical heat gain, in W

### 알고리즘 3. 공기조화실 냉각(冷却) 알고리즘

**Step 1.** 시작

**Step 2.** 식(6)에서 소요환기율 산정

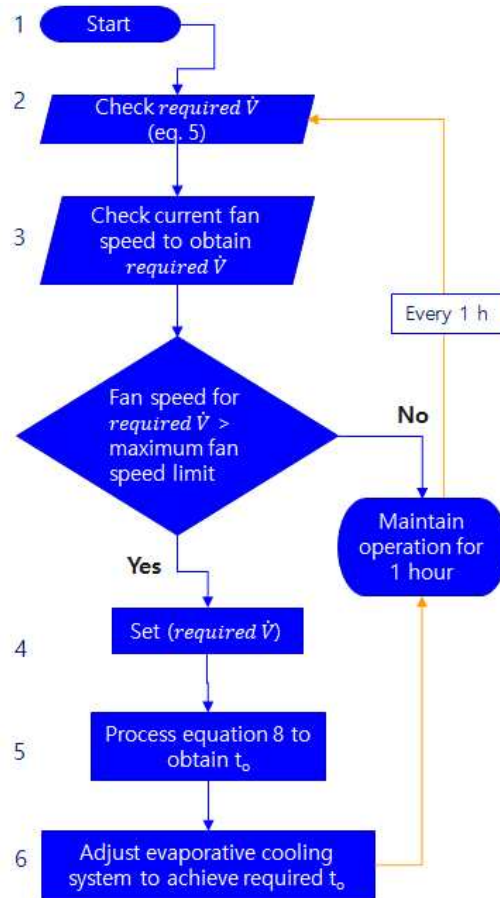
**Step 3.** 팬용량 최대환기율을 만족하는지 분석, if (yes) ‘냉각cooling 필요’ Step 4 로 넘어감.  
if (no) ‘냉각cooling 불필요’ step 7 으로 건너뛰

**Step 4.** 소요환기율 (*required*  $\dot{V}$ ) 설정

**Step 5.** 식(8)에서 설정온도 *required*  $t_o$  결정

**Step 6.** 증발냉각시스템 evaporative cooling system 설정온도 *required*  $t_o$ 이름

**Step 7.** 매시간 외부온도에 따른 냉각용량 결정을 위하여 Step 2 되돌아감



[그림 2.28] 공기조화실 냉각 알고리즘 흐름도

### 공기조화실의 냉각(冷却) 알고리즘 설명

- Step 1.** 사용자가 온도를 제어하기 위해 시스템을 실행하는 동시에 사용자가 작업하도록 시스템이 자동으로 실행됨. 외부 온도가 대부분 높은 여름철에는 냉각 시스템이 자동으로 작동하고 환기율 최대 한도는 설비(팬)에 의해 도달될 수 있음
- Step 2.** 식 6에서 얻어진 소요 환기율은 시스템에 의해 확인됨
- Step 3.** 다음으로 팬 속도를 확인하고 팬 속도를 현재 환기율로 변환한 다음 소요 환기율과 비교. 소요 환기율이 팬이 제공한 최대 한도 환기율(최대 팬 속도 제한)보다 높으면 Step 4로 진행하고 그렇지 않으면 다음 1 시간 동안 현재 작동을 유지
- Step 4.** 소요 환기율이 최대 한도 환기율보다 높으면 최대 한도 환기율을 소요 환기율로 설정함
- Step 5.** 새로운 소요 환기율이 설정되어 식 7을 통해 값을 계산함.  $q_s$ ,  $q_f$ ,  $q_w$ , , , 및 데이터는 값이 유사하기 때문에 식 6으로부터 얻어짐. Step 4에서 얻어진 새로운 데이터 세트가 사용됨
- Step 6.** 다음으로 Step 5에서 얻은  $t_0$ 정보를 바탕으로 공기조화실의 공기 증발식 냉각 시스템을 활성화하고 다음 1 시간 동안 냉각 작동을 유지함



**Step 7.** 1 시간 작동 후, Step 2 로 돌아가서 모든 단계를 계속 수행

#### 공기조화실의 냉각(冷却) 알고리즘의 방정식

Equation 8

$$\dot{V}C_p\rho(t_i-t_o) = q_s - FP(t_i-t_o) - \sum_n (A/R)_n(t_i-t_o)$$

$$q_s = \dot{V}C_p\rho(t_i-t_o) + FP(t_i-t_o) + \sum_n (A/R)_n(t_i-t_o)$$

$$(t_i-t_o) = \frac{q_s}{\dot{V}C_p\rho + FP + \sum_n (A/R)_n}$$

$\dot{V}$  : Ventilation rate, in m<sup>3</sup>/s

$C_p$  : Specific heat of dry air, in J/kg.K (1,006 J/kg.K)

$q_s$  : Sensible heat production by livestock, in W

$q_w$  : Structural heat loss, in W

$q_f$  : Heat loss through perimeter (floor), in W

$q_m$  : Mechanical heat gain, in W

#### 알고리즘 4. 바이오필터(BF) 성능 제어 알고리즘

상태 용어(Term of condition) :

1. 목표: 배출구에서 검출되는 암모니아가 3.0ppm보다 낮아야 함
2. 물 순환 및 패드 상태 관련 하드웨어가 제어됨
3. 바이오필터 성능 (암모니아 감소율)에 따라 바이오필터 패드 또는 순환수 변경 여부를 알리는 경보 시스템
4. 12시간마다 상태 점검 및 측정 실행
5. 순환수 데이터 온라인 수집을 위한 pH 프로브가 필요
6. 암모니아 가스 데이터 온라인 수집을 위한 암모니아 프로브 필요

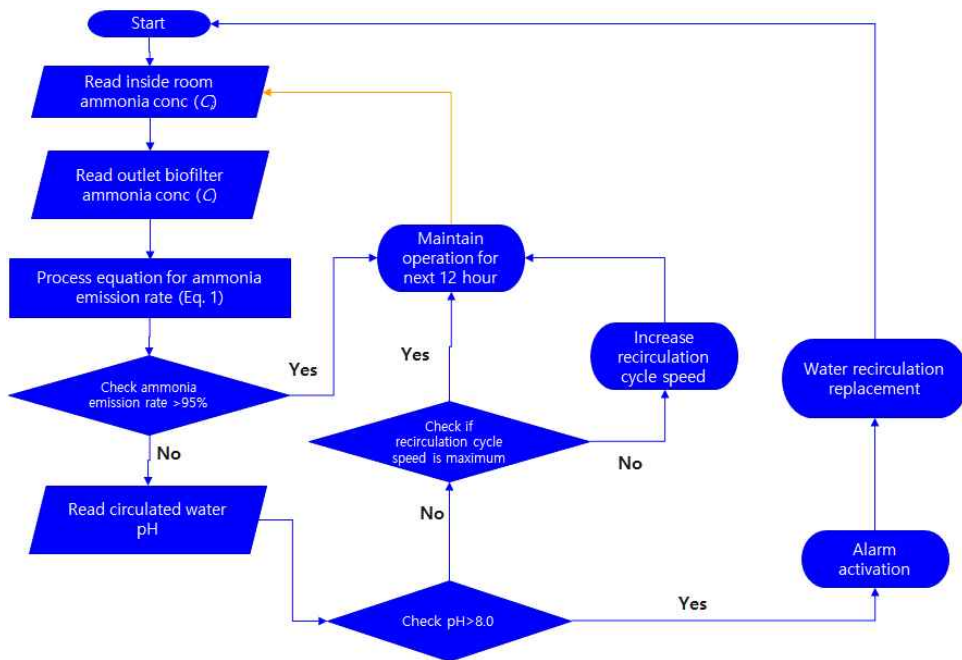
**Step 1.** 시작

**Step 2.** 실내 암모니아 농도 확인

**Step 3.** 배출구 암모니아 농도 확인

**Step 4.** 암모니아 제거율에 대한 공정 방정식

- Step 5. 암모니아 제거율이 95% 이상인지 확인하고 (Yes) Step 6 로 진행하고 (No) 경보를 활성화하고 Step 7 로 진행
- Step 6. 시간 동안 현재 작업 유지
- Step 7. 재순환수의 pH 확인
- Step 8. 재순환수의 pH가 8.0보다 높은지 확인하고 (Yes) Step 9로 진행, (No) Step 10으로 진행
- Step 9. 재순환수 변경을 위한 경보 활성화
- Step 10. 재순환 사이클 속도가 최대인지 확인하고 (Yes) Step 11로 계속 진행, (No) Step 12로 진행
- Step 11. 재순환 사이클 속도 유지
- Step 12. 재순환 사이클 속도 증가
- Step 13. Step 2로 돌아가서 12 시간마다 모든 과정을 반복



[그림 2.29] 바이오필터 성능 제어 알고리즘의 흐름도

### 바이오필터(BF) 성능 제어 알고리즘에 대한 설명

Step 1. BF 작동 제어 시스템은 사용자가 축사 환경 제어 시스템을 실행할 때 자동으로 작동함. ICT 적용에 의해 제어되는 바이오필터 작동은 유수식 세정기(water scrubber) 재순환 사이클임. 재순환 사이클에는 기본적으로 두 가지 표준 세트가 있음(정상 및 고속). 고효율(95% 이상의 암모니아 감소율) 조건에서 바이오필터는

정상 사이클 속도(시간당 2 사이클, 1 사이클 = 3 분 패드 급수)로 작동. 암모니아 감소율이 95%보다 낮으면, 95% 이상의 암모니아 감소율에 도달하기 위해 시스템이 고속 모드로 변경됨

- Step 2.** 센서 판독을 통해 실내 암모니아 농도 ( $C_i$ ) 정보를 수집
- Step 3.** 실내 암모니아 농도의 정보를 수집 한 후, 센서 판독을 통해 바이오 필터 이후 암모니아 농도  $C_o$  정보를 수집
- Step 4.** 수집된 암모니아 농도 데이터는 암모니아 감소 효율( $r$ )을 추정하기 위한 방정식에 사용됨
- Step 5.** 다음으로 암모니아 감소 효율이 95% 이상 혹은 미만 인지를 확인. 만약 ( $r$ )이 95% 이상이면 Step 6로 진행. 암모니아 감소 효율이 높다는 것은 바이오필터 성능이 좋거나 개선됨을 의미함. 95% 미만이면 Step 7로 진행
- Step 6.** 현재 작업 계획을 계속하기 위해 후속 단계 실행. 현재 운영 계획은 다음 12 시간까지 계속됨
- Step 7.** BF 작동 제어 시스템은 사용자가 축사 환경 제어 시스템을 실행할 때 자동으로 작동함. ICT 적용에 의해 제어되는 바이오필터 작동은 유수식 세정기(water scrubber) 재순환 사이클임. 재순환 사이클에는 기본적으로 두 가지 표준 세트가 있음(정상 및 고속). 고효율(95% 이상의 암모니아 감소율) 조건에서 바이오필터는 정상 사이클 속도(시간당 2 사이클, 1 사이클 = 3 분 패드 급수)로 작동. 암모니아 감소율이 95%보다 낮으면, 95% 이상의 암모니아 감소율에 도달하기 위해 시스템이 고속 모드로 변경됨. 이 단계에서는 재순환수의 pH를 확인하여 pH 데이터를 수집한 후 다음 단계로 진행
- Step 8.** 암모니아 감소율이 95% 미만인 경우, 바이오필터 시스템은 상태가 좋지 않거나 상태 이상이며 상태 이상 중 하나는 암모니아 흡수 용량 감소임. 낮은 암모니아 흡수 용량은 재순환수의 pH 증가와 관련됨으로 이 단계에서 재순환수의 pH가 8 이상인지 여부를 점검한 후 pH가 8 이상이면 Step 9로 진행, 8 미만이면 Step 10으로 진행
- Step 9.** 재순환수 변경을 위해 사용자 경고 시스템을 활성화. 경보는 램프, 소리 알림 또는 온라인 메시지를 통해 이루어질 수 있음
- Step 10.** 재순환수 사이클 속도가 고속 모드인지 아닌지를 확인. 암모니아 감소율을 높이는 한 방법으로 암모니아 흡수 시간 증가가 있으며 이는 사이클 속도 증가를 통해 이루어질 수 있음. 따라서 사이클 속도가 고속 모드이면 Step 11로 진행, 정상 모드이면 Step 12로 진행
- Step 11.** 재순환 사이클 속도를 유지하고 다음 12시간 동안 작업 계획을 계속 진행
- Step 12.** 재순환 사이클 속도를 정상 모드에서 고속 모드로 변경

**Step 13.** 재순환 사이클 속도를 증가시킨 후, 다음 12시간 동안 현재의 작업 계획을 유지하고, 12 시간 후, Step 2로 돌아감

**바이오필터(BF) 성능 제어 알고리즘의 방정식**

Equation 1.

$$r = \frac{C_i - C}{C_i} \times 100$$

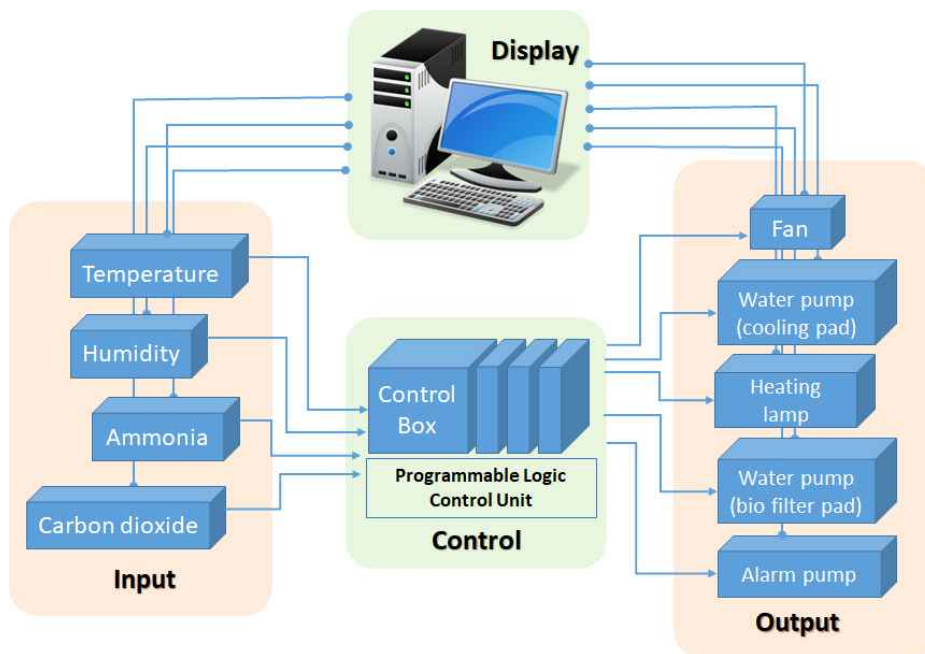
$r$  = ammonia removal rate (%)

$C_i$  = initial ammonia concentration (ammonia concentration inside the pig house)

$C$  = final ammonia concentration (ammonia concentration after biofilter outlet)

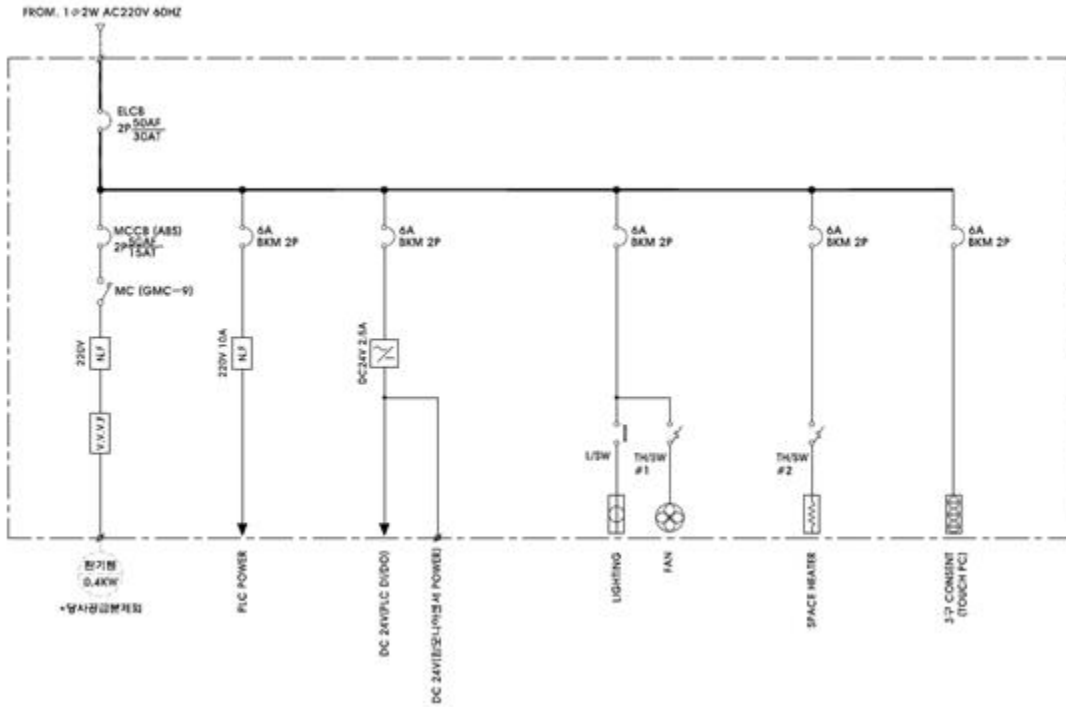
**1. 통합 돈사 및 바이오필터 시스템 현장에서의 ICT 적용에 대한 기술**

○ 본 과제에서 수행될 ICT 적용에 대한 일반적인 계획도가 [그림 2.30]에 나타나 있다. 입력 매개 변수로 온도, 습도, 암모니아 및 이산화탄소 등이 있다. 온도 및 습도 정보는 돼지를 위해 필요한 안정 지대(comfort zone)(온도)에 도달하기 위해 돈사 내부의 환경 조건을 제어하는 데 필요하며, 암모니아 정보는 바이오필터 작동 제어에 필요하다.

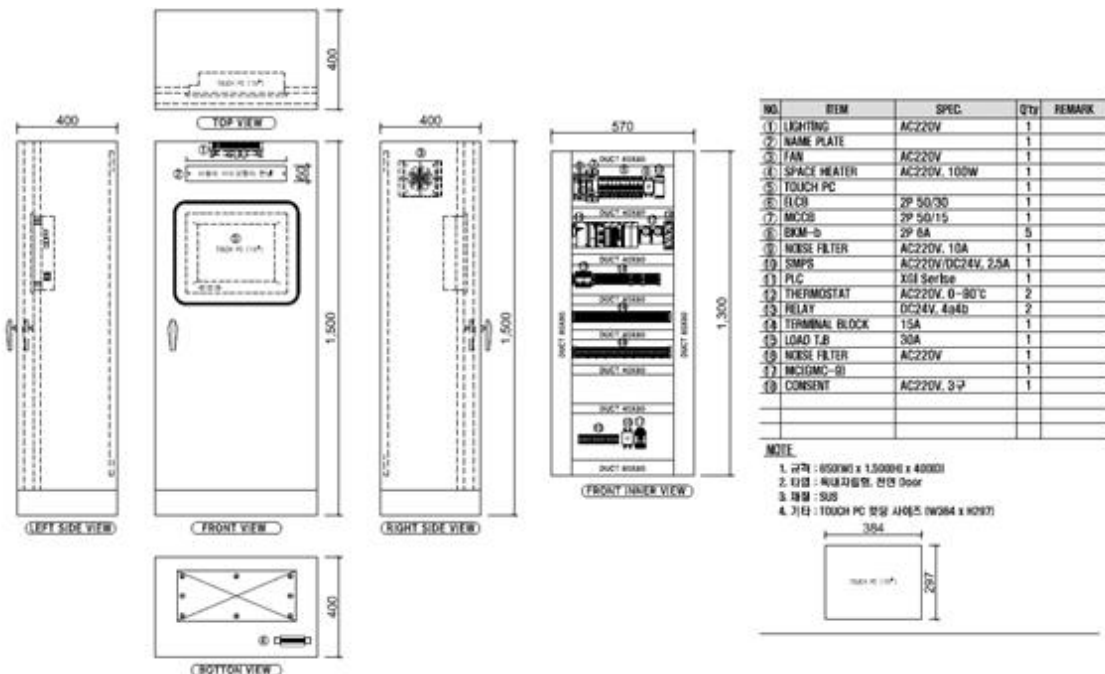


[그림 2.30] ICT 적용의 현장 테스트에 사용되는 입력, 제어 및 출력 매개 변수의 구성도

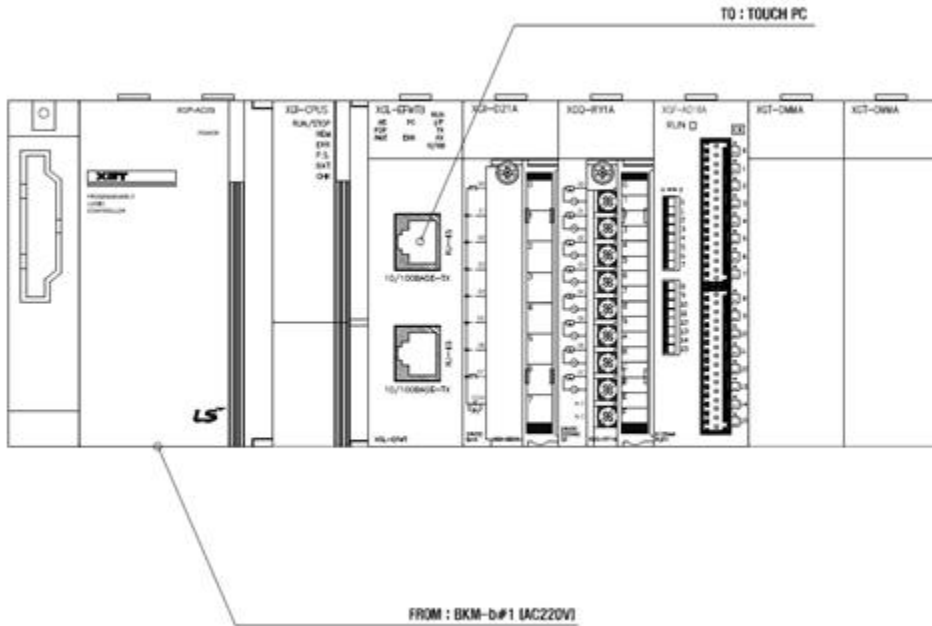
○ [그림 2.31]와 [그림 2.32]는 ICT에 의해 제어되는 바이오필터 장치를 갖춘 각 유형의 돈사의 흐름 회로도를 나타낸다. 외부에 배치된 입력 매개 변수 센서는 온도( $t_o$ ), 습도( $h_o$ ) 및 암모니아( $NH_3$ )이고 내부는 온도 ( $t_i$ ), 습도 ( $h_i$ ), 암모니아 ( $NH_3$ ) 및 이산화탄소 ( $CO_2$ )이다.



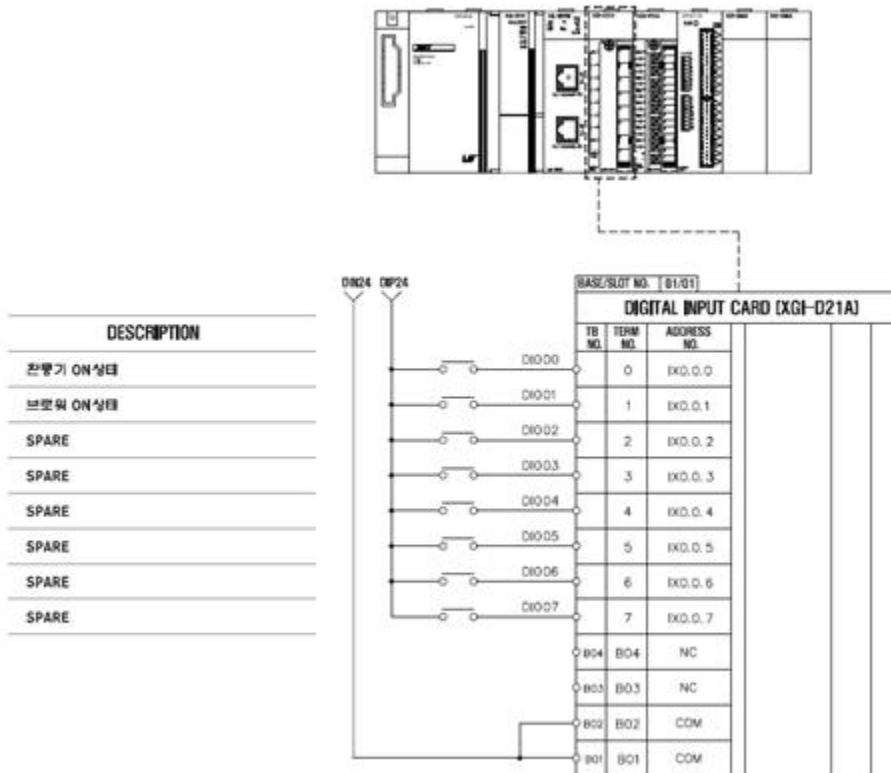
[그림 2.31] A형 돈사 회로 구성 (판넬 단선결선도)



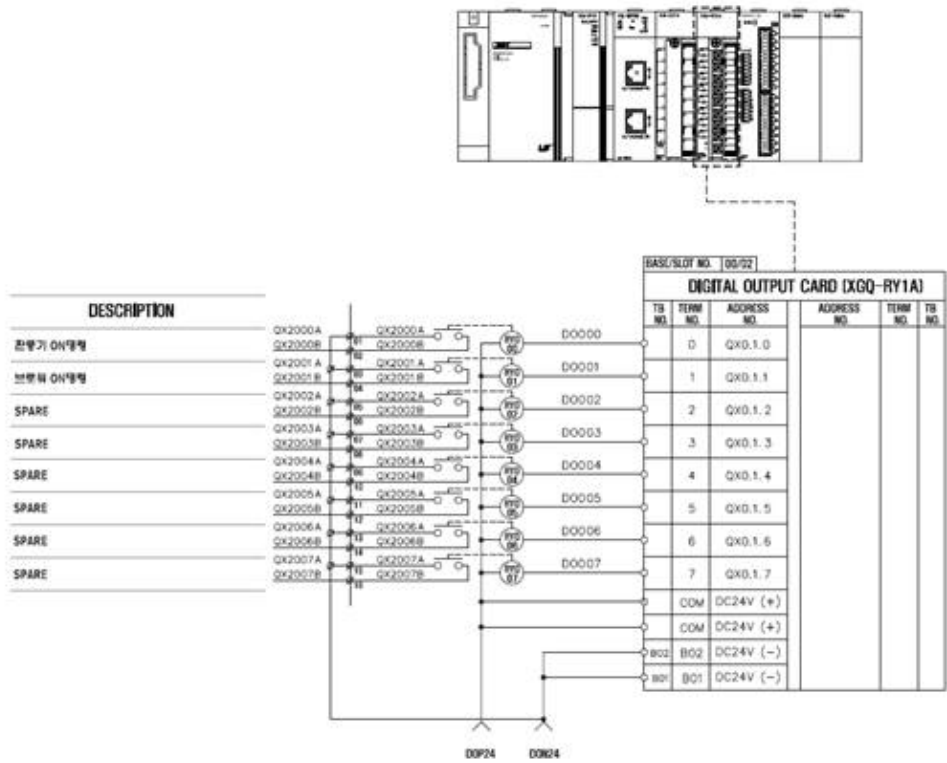
[그림 2.31] A형 돈사 회로 구성 (판넬 외형 및 내부 배치도)



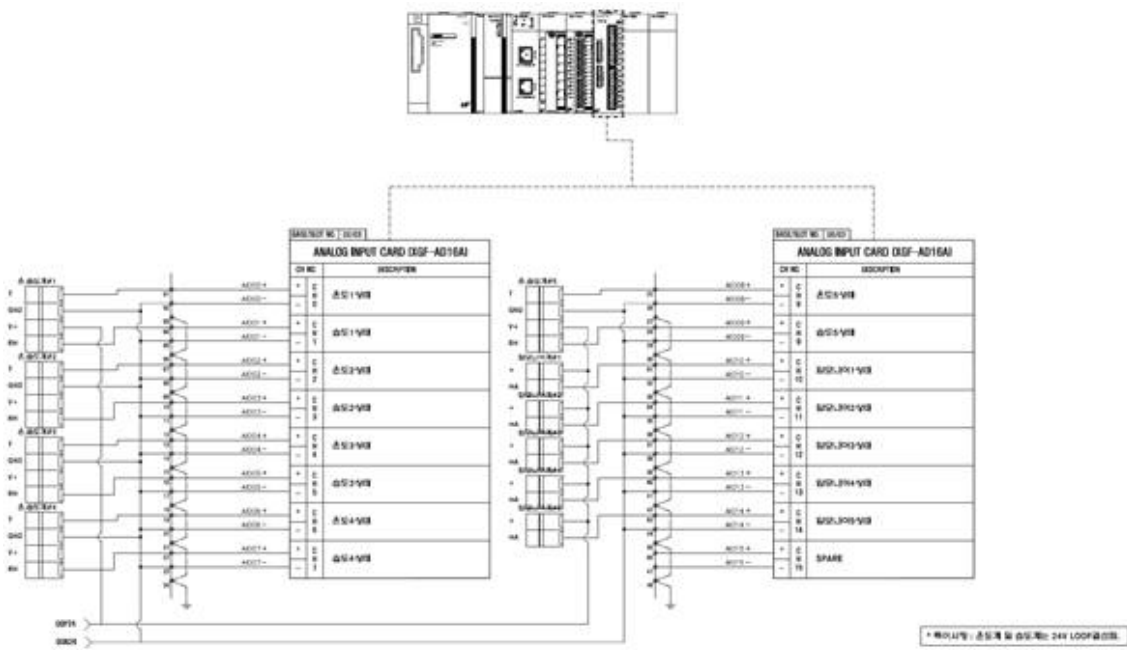
[그림 2.31] A형 돈사 회로 구성 (PLC 구성도)



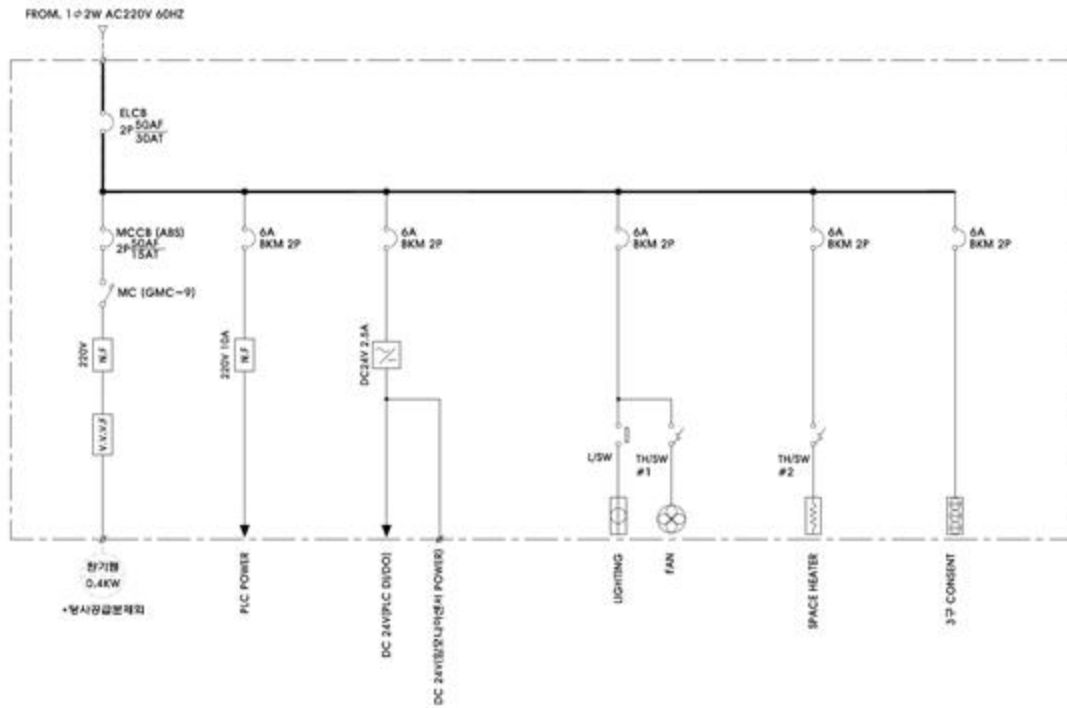
[그림 2.31] A형 돈사 회로 구성 (PLC DI 결선도)



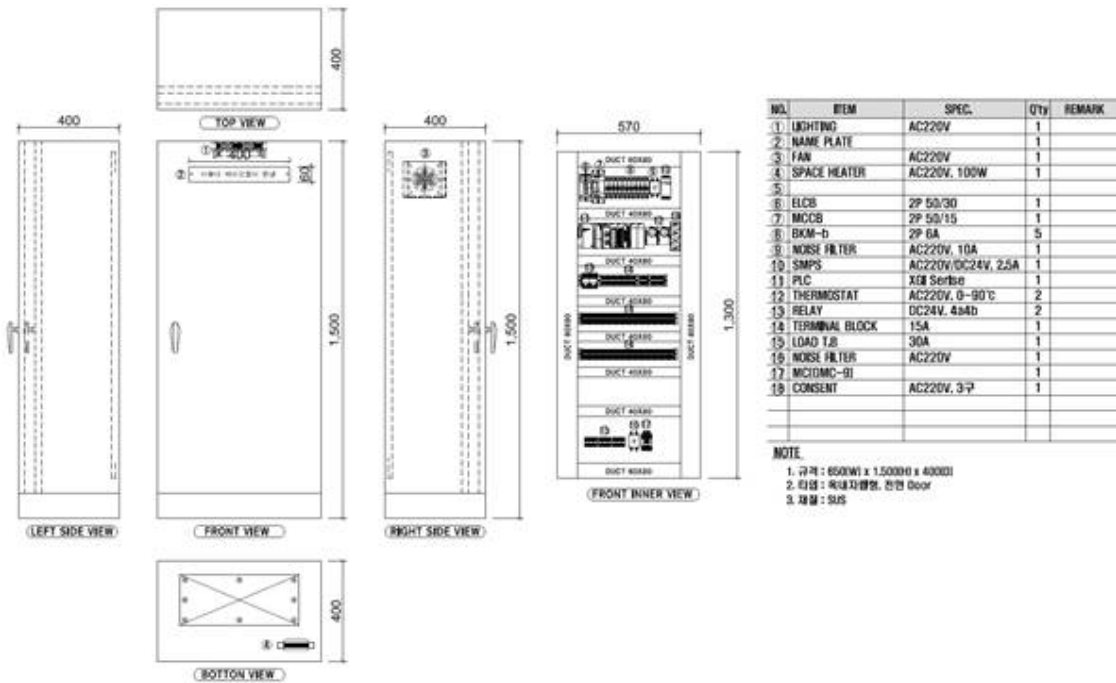
[그림 2.31] A형 돈사 회로 구성 (PLC DO 결선도)



[그림 2.31] A형 돈사 회로 구성 (PLC AI 결선도)

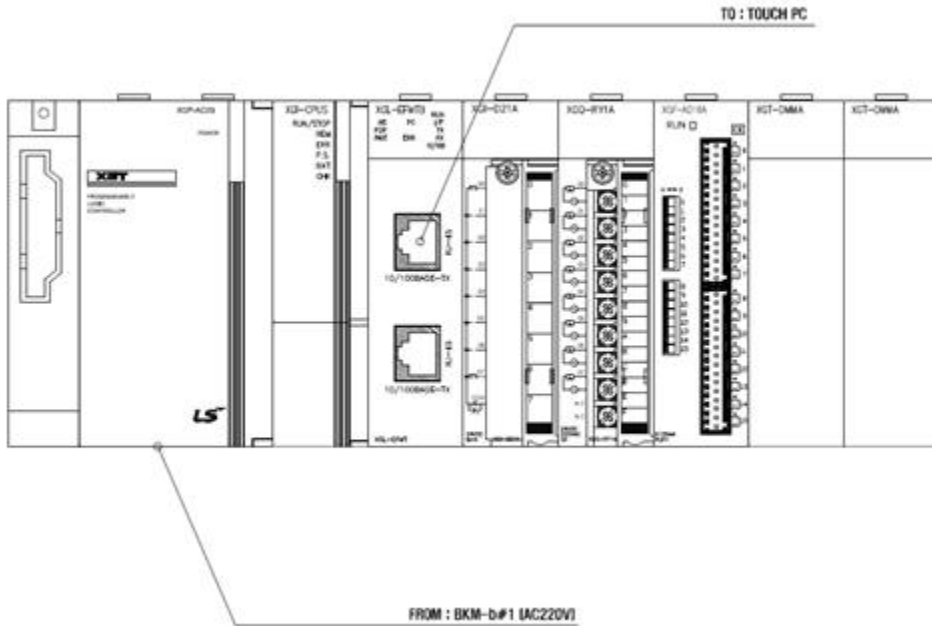


[그림 32] B형 돈사 회로 구성 (판넬 단선결선도)

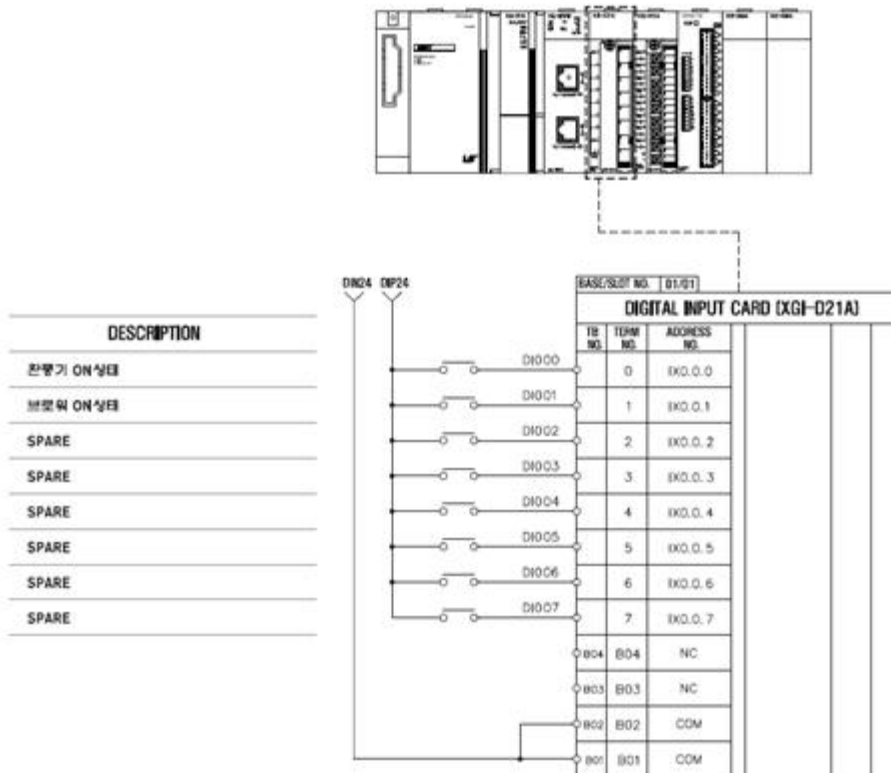


[그림 2.32] B형 돈사 회로 구성 (판넬 외형 및 내부 배치도)



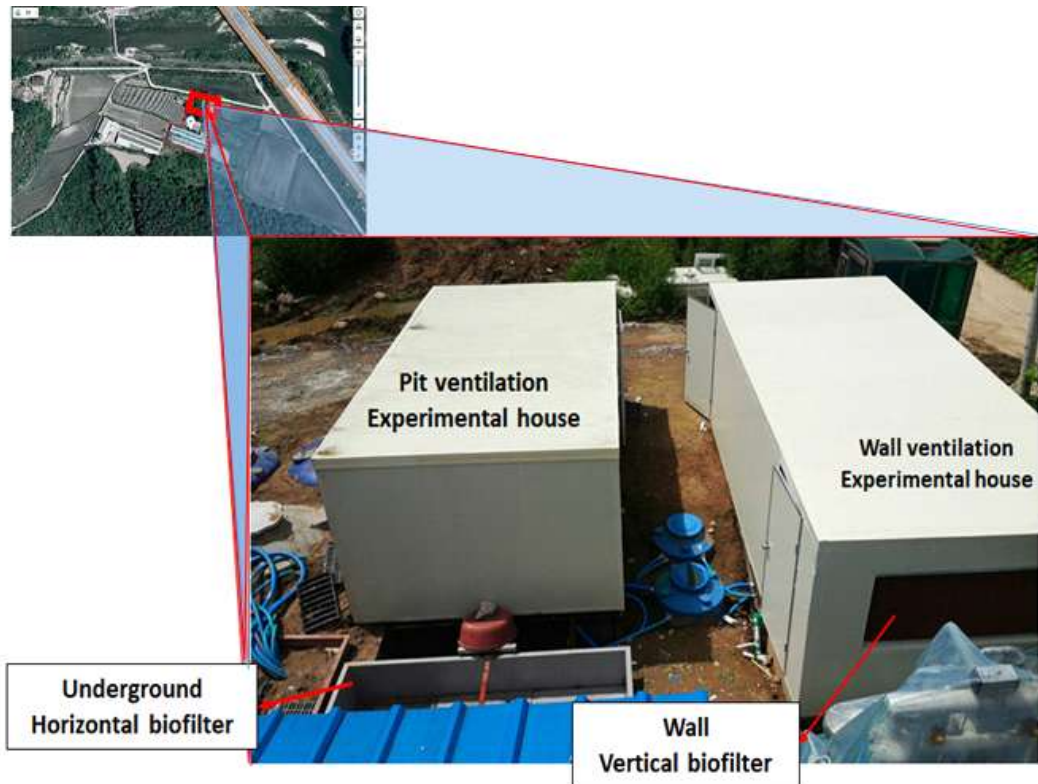


[그림 2.32] B형 돈사 회로 구성 (PLC 구성도)



[그림 2.32] B형 돈사 회로 구성 (PLC DI 결선도)

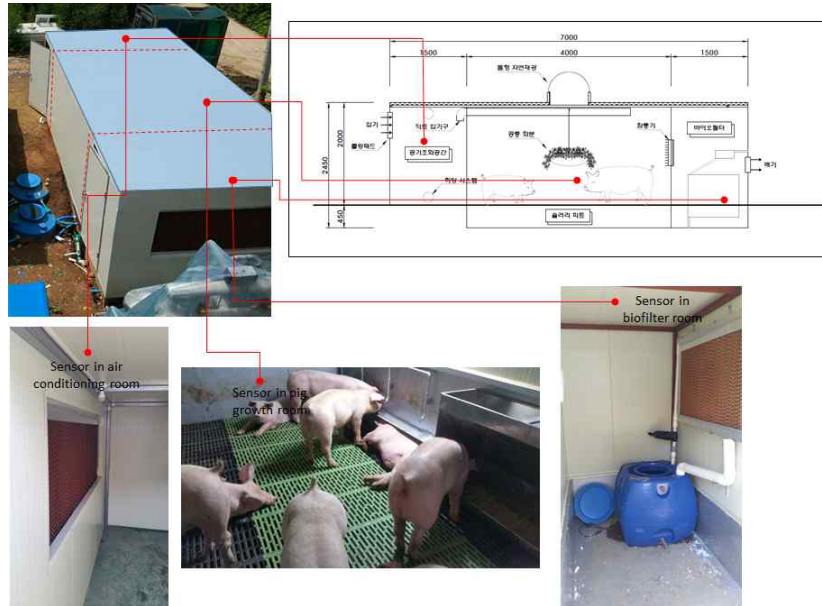




[그림 2.33] ICT 적용 테스트를 위한 두 가지 유형의 통합 돈사 및 바이오필터 시설의 모습

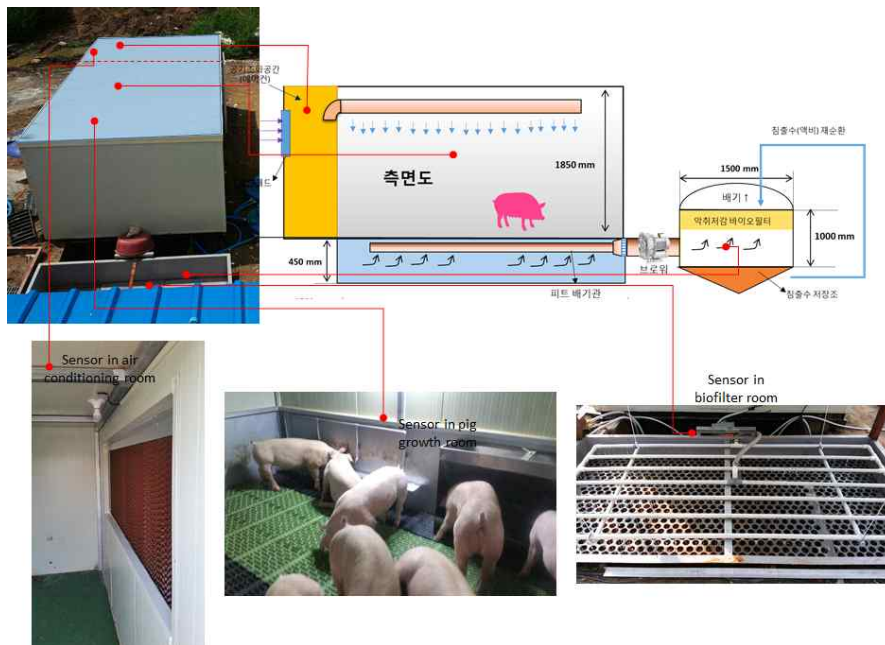


[그림 2.34] 실험 현장 및 현장 실험실



[그림 2.35] A형 (벽체 환기 돈사 + 지하 수직형 바이오필터)의 센서 배치

○ A형 돈사의 센서 배치 위치는 [그림 2.35]에 red dots으로 표시하였다. 센서는 외부 환경에 직접 노출되어 현재 환경 조건이 정확하게 측정하여 정보를 수집하는 매우 유익한 도구로서 B형 돈사의 센서 위치는 [그림 2.36]에 나타나 있다



[그림 2.36] B형 (피트 환기 돈사 + 지하 수평형 바이오필터)의 센서 배치 계획

○ 센서 연결 및 구성

- 1) 온도 센서, 습도 센서 및 PLC 연결

온도 및 습도 센서가 연결 케이블로 PLC에 연결됨. 센서에서 측정된 온도는 전기 신호로 변환된 후 PLC 모듈로 전송됨

2) 암모니아 센서 및 PLC 연결

암모니아 센서는 연결 케이블을 통해 PLC에 연결됨. 센서에서 측정된 값은 전기 신호로 변환된 후 PLC 모듈로 전송됨

3) 터치 모니터 디스플레이(touch-monitor-display), PC 및 PLC 연결됨

모니터를 통해 센서가 기록하고 PLC에서 처리된 데이터를 표시함



[그림 2.37] 인터페이스, 디스플레이 및 멘토 장치용 PC 노트북



[그림 2.38] 통신케이블



[그림 2.39] PLC 박스

#### 4) 출력 하드웨어 및 PLC 연결

PLC 장치는 센서로부터 데이터를 받아 PLC 장치의 알고리즘 logic을 통해 처리하며 출력을 수행한다. 출력은 현재 상황에 대한 피드백을 위해 하드웨어를 실행하게 하는 신호이며, 하드웨어는 기본적으로 돈사 내부의 팬, 가열등, 냉각 패드의 재순환수 및 바이오필터 패드를 위한 펌프의 구동을 제어한다. 출력 하드웨어가 [그림 2.40], [그림 2.41], [그림 2.42], [그림 2.43]에 나타나 있다.



[그림 2.40] 가열등



[그림 2.41] A형 돈사 벽체 환기 시스템의 팬



[그림 2.42] B형 돈사 피트 환기 시스템의 팬



[그림 2.43] 펌프 장치

#### 5) 전력 패널

전력 패널은 ICT 하드웨어 시스템에 대한 전기 공급을 관리함. 실험실에 설치된 전력 패널 실상도 ([그림 2.44]) 이다.



[그림 2.44] 전력 제어반

#### 온도 및 습도 사양

- 본 과제에서 사용된 온도 및 습도 센서의 특성 및 세부 정보가 [표 2.5], [표 2.6] 및 [표 2.7]에 기술되어 있다.





[그림 2.45] 온도 센서

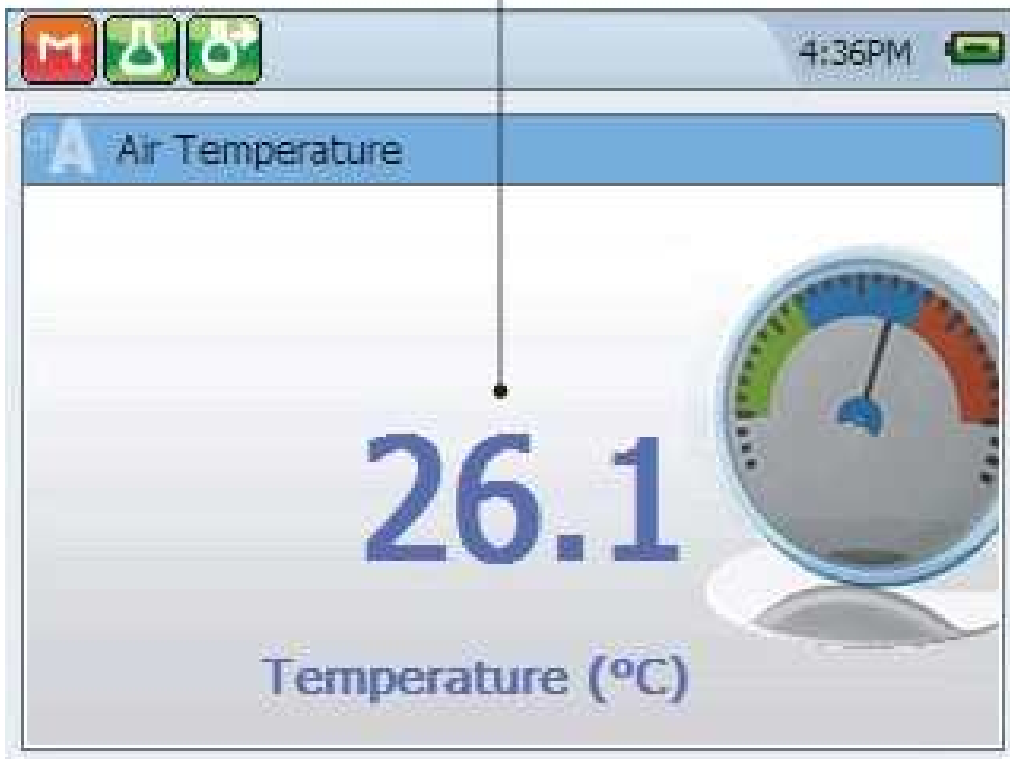
[표 2.5] 온도 센서 제품의 특성

목록	상세 설명
특성	주변 온도와 습도를 LCD 디스플레이를 통해 판독 가능
사양	84x23x100 (WxDxH) in mm
적용	내부 온도 측정에 사용

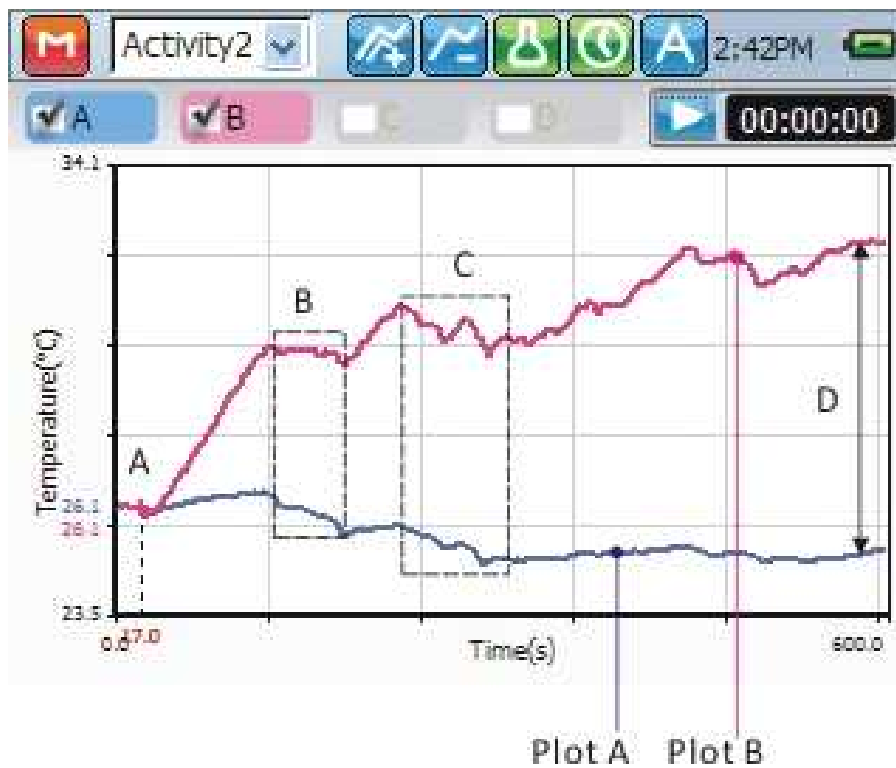
[표 2.6] 온도 센서 제품의 세부 정보

목록	상세 설명
측정 범위	-40 to 60 °C, -20 to 80 °C, 0 to 50 °C
정확성	+/-0.3°C@25°C
운전 온도	-20°C to 70°C
저장 온도	-10°C to 60°C
디스플레이	+/- 99.9°C
출력 범위	4~20mA

### Reading air temperature



[그림 2.46] snap shot 스냅 샷 화면에서 0.3 초 간격으로 연속 온도 읽기



[그림 2.47] Float C는 cold draft의 존재에 따라 Float A, B의 온도가 빠르게 감소함을 나타냄



[그림 2.48] 습도 센서

[표 2.7] 습도 센서 사양

목록	설명
측정 범위	0 to 100 %RH
디스플레이	RH0.0~99.9% LED(LCD)
출력 범위	4~20mA
해상도	H: 0.01%RH T: 0.1℃

#### 암모니아 센서 사양

○ 암모니아는 돈사 작업인 및 그 주변에 거주하는 사람들의 쾌적 조건(comfort condition)과 높은 상관 관계를 지니기 때문에 제어해야 하는 주요 약취이다. [그림 2.49]와 같이 암모니아 센서 모듈로서 돈사의 상대 습도는 약 80-90%로 높기 때문에 암모니아 센서 사용 시 센서의 내구성이 중요시 된다. 암모니아 센서 중 일부 제품은 다습(多濕) 환경에서 정상 작동되지 않을 가능성이 높다.



[그림 2.49] 암모니아 센서 모듈

[표 2.8] 암모니아 센서 모듈 사양

특성	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 크기: 89mm X144mm X 158mm L * W * H</li> <li>2. 주요 구성 요소: 암모니아 가스 센서</li> <li>3. 작동 전압: DC 24V</li> </ol>
특징	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 레벨 신호 출력 및 알람 신호 표시기를 갖추고 있음</li> <li>2. 아날로그 신호 출력을 갖춘 센서 모듈의 전압 범위: 0-5V</li> <li>3. 액티브 저레벨 신호 출력이 구동될 수 있으며, PNP 트랜지스터 또한 마이크로컨트롤러 IO 포트에 연결 가능</li> <li>4. 아날로그 출력 전압은 농도가 높을수록 높아짐</li> <li>5. 암모니아, 트리메틸아민, 에탄올아민에 대해 감도가 높음</li> <li>6. 긴 서비스 수명과 높은 안정성</li> <li>7. 예열 후 빠른 응답 특성 및 빠른 회복 특성을 보임</li> <li>8. 고정 설치에 용이한 장착 구멍</li> <li>9. 프로브는 테스트에 용이하게 설계됨</li> <li>10. 온도 보상 기능, 적응력 및 신뢰성을 갖춘</li> </ol>

○ ICT 시스템 성능 검증 및 ICT 시스템 프로그램 개발을 위한 데이터 수집 및 모니터링이 수행되었다. [그림 2.50]는 환경 조건 및 돼지 생육조건에 대한 모니터링 및 데이터 수집을 하고 있다.



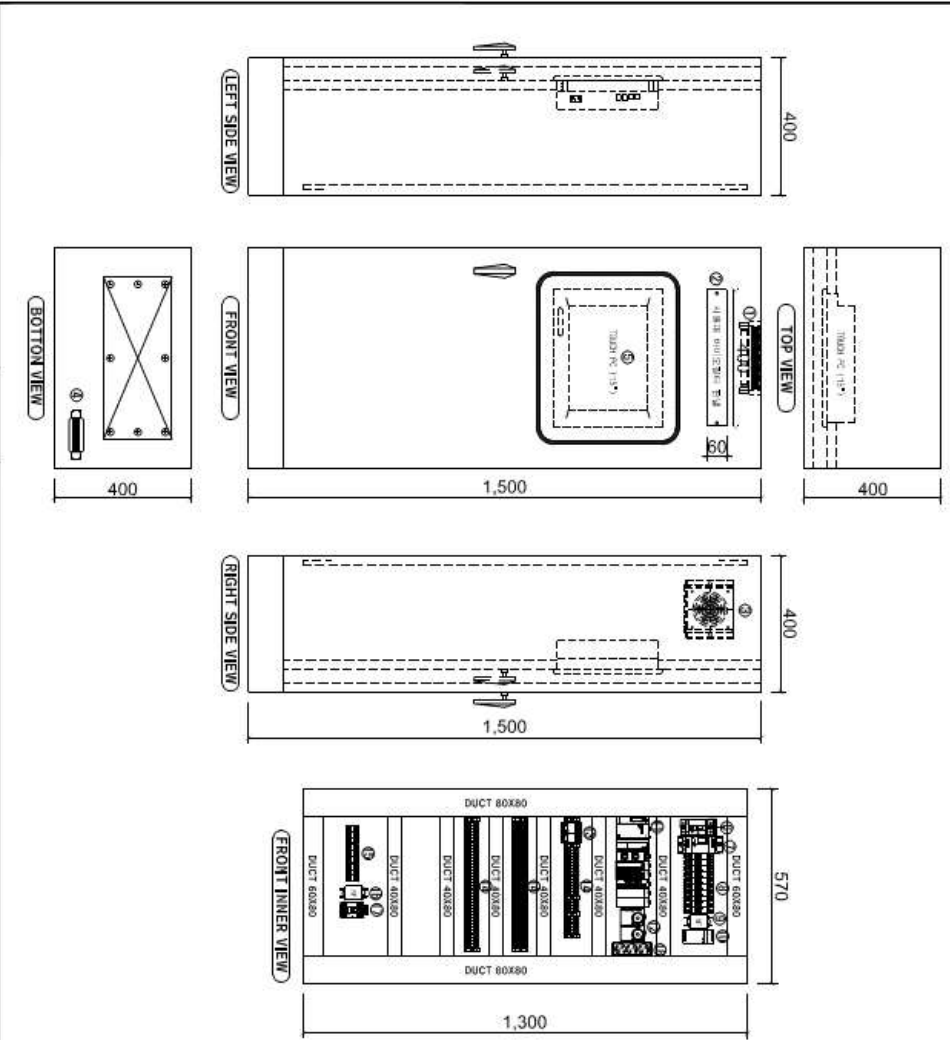
[그림 2.50] 모니터링 활동

○ ICT 관련 장치의 사양 및 이의 기술(記述)내용은 첨부 (appendix 1)과 같다.

Appendix 1.

<p style="text-align: center;"><b>황성 컨테이너 돈사 약취저감 테스트 설비 시스템 구축</b></p> <p style="text-align: center;">[ 제 작 도 면 ]</p> <p style="text-align: center;">2017. 10</p>									
DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE	DATE
2017.10.20			2017.10.21						
<p><b>JIS (주)주인정보시스템</b></p>					<p>Project Name</p>				
<p>황성 컨테이너 돈사 약취저감 테스트 설비 시스템 구축</p>					<p>표 지</p>				
Scale	NONE		FILE						
Size	A3		DWG						
			NO.						
			SHEET						

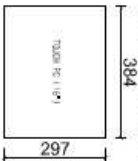
서울대 바이오필터 관내 외형 및 내부 배치도



NO.	ITEM	SPEC.	QTY	REMARK
①	LIGHTING	AC220V	1	
②	NAME PLATE	AC220V	1	
③	FAN	AC220V, 100W	1	
④	SPACE HEATER	AC220V, 100W	1	
⑤	TOUCH PC		1	
⑥	EICB	2P 50/30	1	
⑦	MCCB	2P 50/15	1	
⑧	BKLV-D	2P 6A	5	
⑨	NOISE FILTER	AC220V, 10A	1	
⑩	SMPS	AC220V/DC24V, 2.5A	1	
⑪	PLC	X4 Setse	1	
⑫	THERMOSTAT	AC220V, 0-90°C	2	
⑬	RELAY	DC24V, 48Ad	2	
⑭	TERMINAL BLOCK	15A	1	
⑮	LOAD TB	30A	1	
⑯	NOISE FILTER	AC220V	1	
⑰	MCCB(MC-9I)		1	
⑱	CONSPNT	AC220V, 3구	1	

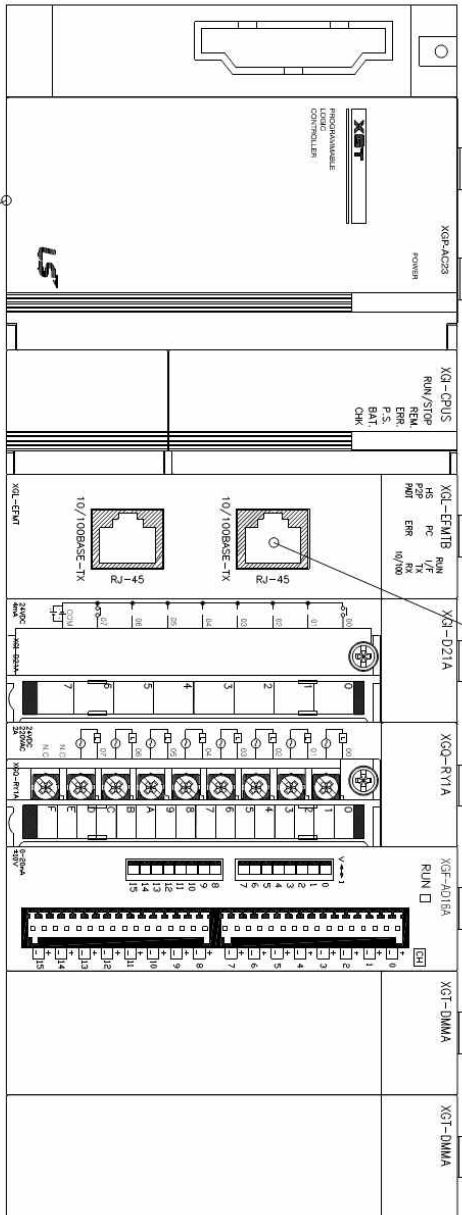
NOTE

1. 규격 : 650(W) x 1,500(H) x 400(D)
2. 단말 : 역내지반열, 전원 Door
3. 재료 : SIS
4. 기법 : TOUCH PC 첫방 시에즈 IW384 x H2971



<p><b>JIS (주)주인정보시스템</b></p>				<p>Project Name</p>	
<p>서울대 바이오필터 관내 외형 및 내부 배치도</p>				<p>Project Name</p>	
<p>DATE</p>	<p>DESIGN</p>	<p>CHECK</p>	<p>REVISION</p>	<p>APPROVAL</p>	<p>This</p>
<p>2024.01.15</p>	<p>김민준</p>	<p>김민준</p>	<p>김민준</p>	<p>김민준</p>	<p>서울대 바이오필터 관내 외형 및 내부 배치도</p>
<p>Scale</p>	<p>NONE</p>	<p>FILE NAME</p>	<p>Scale</p>	<p>NONE</p>	<p>SHEET</p>
<p>A3</p>	<p>S-002</p>	<p>DWG No.</p>	<p>A3</p>	<p>S-002</p>	<p>SHEET</p>

### 서울대 바이오센터 편별 PLC 구성도



FROM : BKM-b#1 (AC220V)

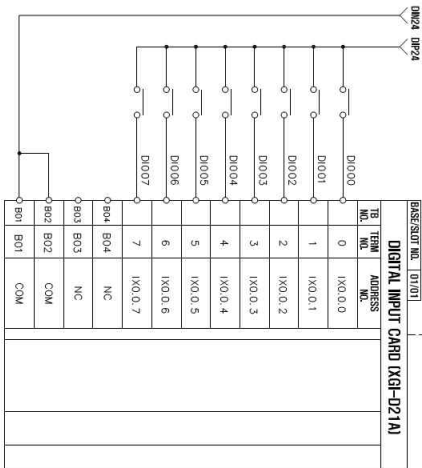
TO : TOUCH PC

<b>JIS (주)주인정보시스템</b>					Project Name		Scale			
DATE	Drawn	Drawn	Checked	Reviewed	Approved	Title		Size	Scale	FILE NAME
DATE	Drawn	Drawn	Checked	Reviewed	Approved	서울대 바이오센터 편별 PLC 구성도		A3	NONE	DWG No.
										SHEET
										S-003

# PLC DIGITAL INPUT WIRING DIAGRAM



DESCRIPTION
관공기 ON/오프
분류회 ON/오프
SPARE
SPARE
SPARE
SPARE
SPARE
SPARE

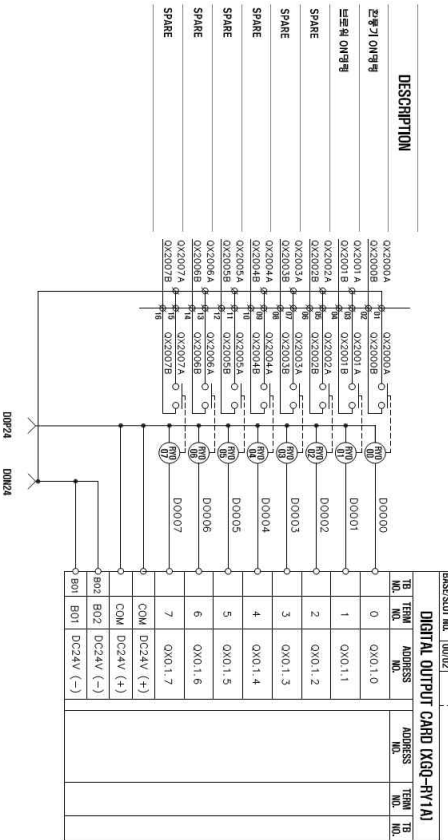
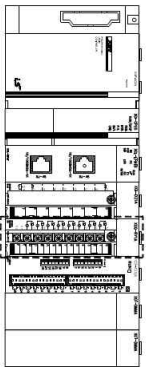


DI TERM NO.	DI TERM ADDRESS	DI TERM NO.	DI TERM ADDRESS
0	I×0.0.0	B01	COM
1	I×0.0.1	B02	COM
2	I×0.0.2	B03	NC
3	I×0.0.3	B04	COM
4	I×0.0.4	B05	NC
5	I×0.0.5	B06	COM
6	I×0.0.6	B07	COM
7	I×0.0.7		

<p style="text-align: center;"><b>JIS (주)주인정보시스템</b></p>					<p>Project Name</p> <p>평생 리더이나 돈사 작업자감 테스트 설비 시스템 구축</p>	
<p>Division</p> <p>Design</p> <p>Design</p> <p>Checked</p> <p>Reviewed</p> <p>Approved</p>					<p>Title</p> <p>시뮬대 바이오 펠터 PLC DIGITAL INPUT WIRING DIAGRAM</p>	
<p>Signature</p> <p>12.2022</p>		<p>Signature</p> <p>12/2022</p>		<p>Scale</p> <p>NONE</p>		
<p>FILE NAME</p> <p>DWG No.</p> <p>S-004</p>		<p>FILE NAME</p> <p>DWG No.</p> <p>S-004</p>		<p>SHEET</p>		

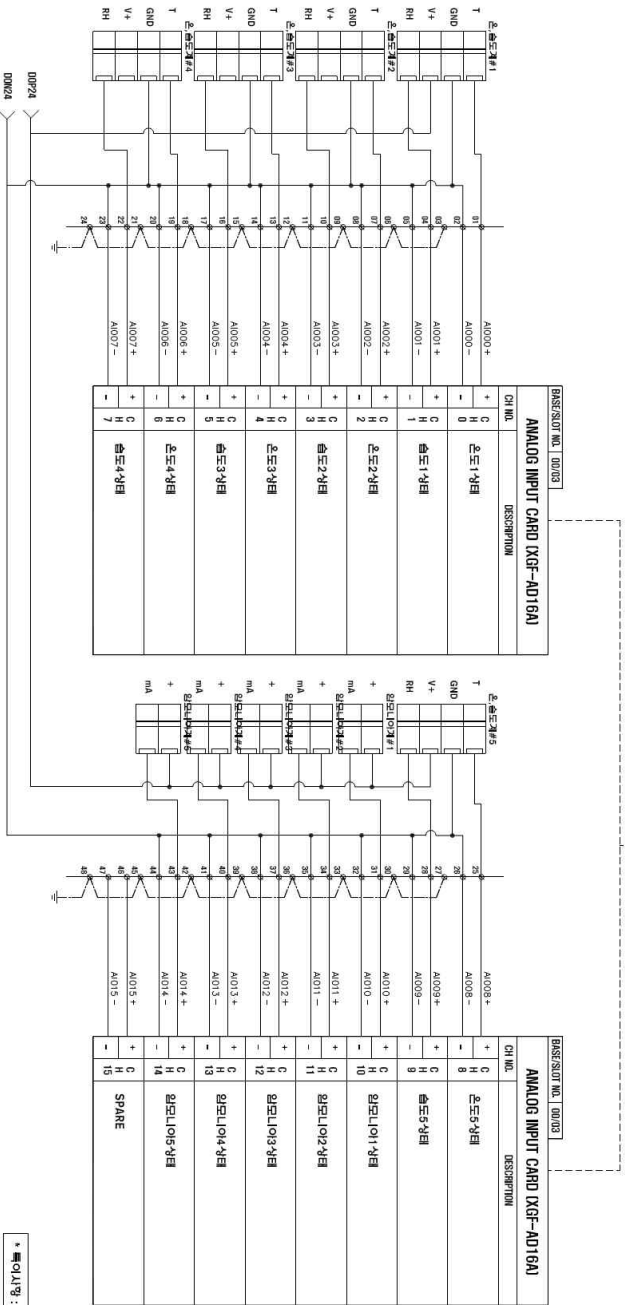
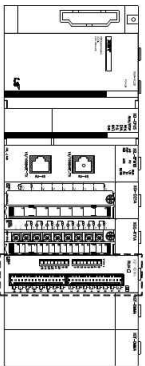


# PLC DIGITAL OUTPUT WIRING DIAGRAM



<b>JIS (주) 주인정보시스템</b>					Project Name		광성 컨테이너 든사 외벽지관 테스트 설비 시스템 구축	
Draft 2023.07.12	Draft 2023.07.12	Checked 2023.07.12	Reviewed 2023.07.12	Approved 2023.07.12	Title		서울대 바이오센터 PLC DIGITAL OUTPUT WIRING DIAGRAM	
Scale A3	FILE NAME NONE		DWG No. S-005		SHEET			

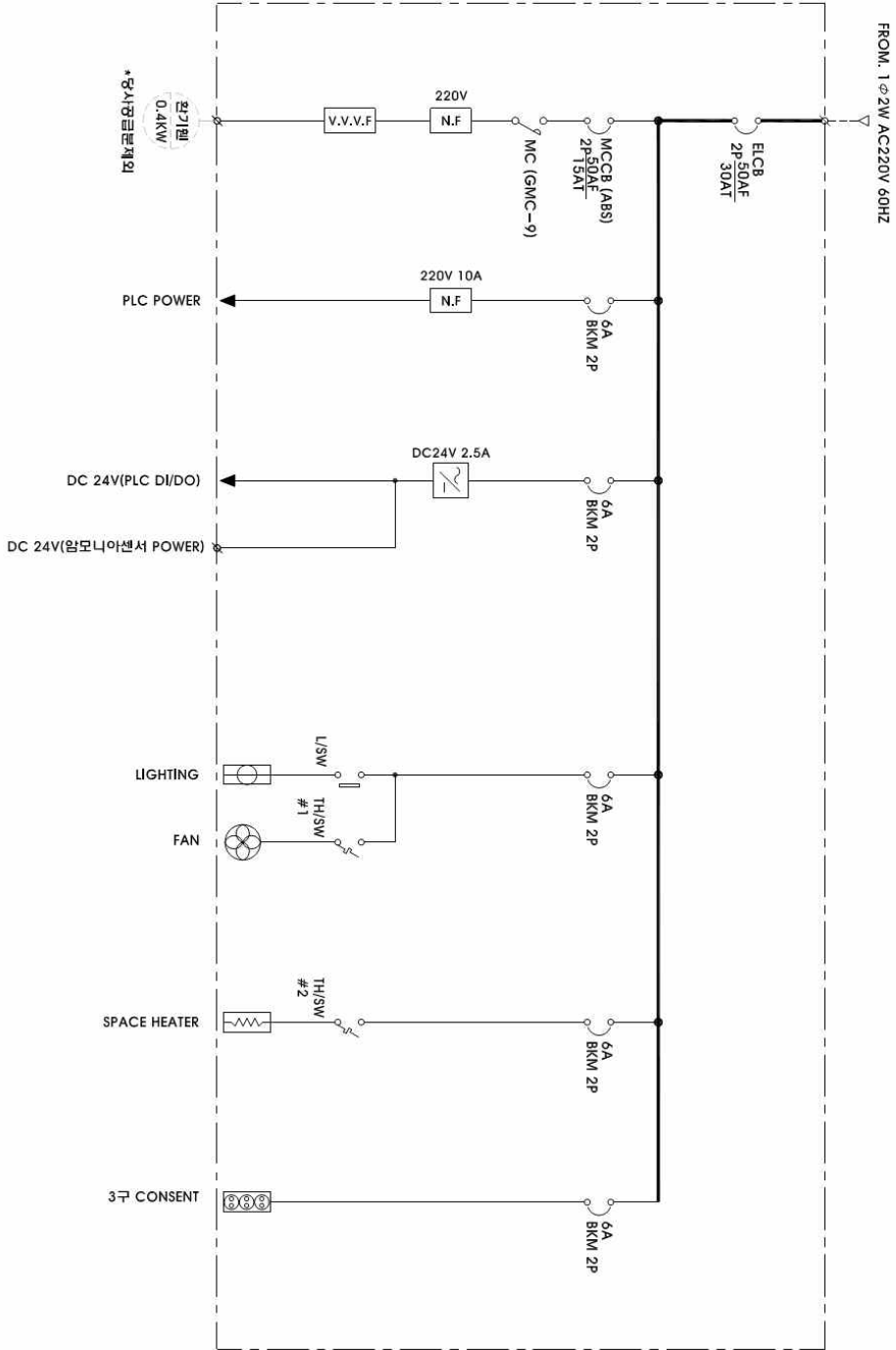
# PLC ANALOG INPUT WIRING DIAGRAM



\* 특이사항 : 온도계 및 압도계는 24V 100mA정전압.

<b>JIS (주) 주인정보시스템</b>				Project Name	
평성 인터이나 든사 와워저란 티스드 설비 시스템 구축				Title	
시물대 바이오펠터 PLC ANALOG INPUT WIRING DIAGRAM				Scale	
NONE				FILE NAME	
A3				DWG No.	
SHEET				S-006	

유도하양정 바이오펀터 관널 단선결선도



JIS (주) 주인정보시스템

Drawn	Design	Checked	Reviewed	Approved
김민준		유정민		

Project Name

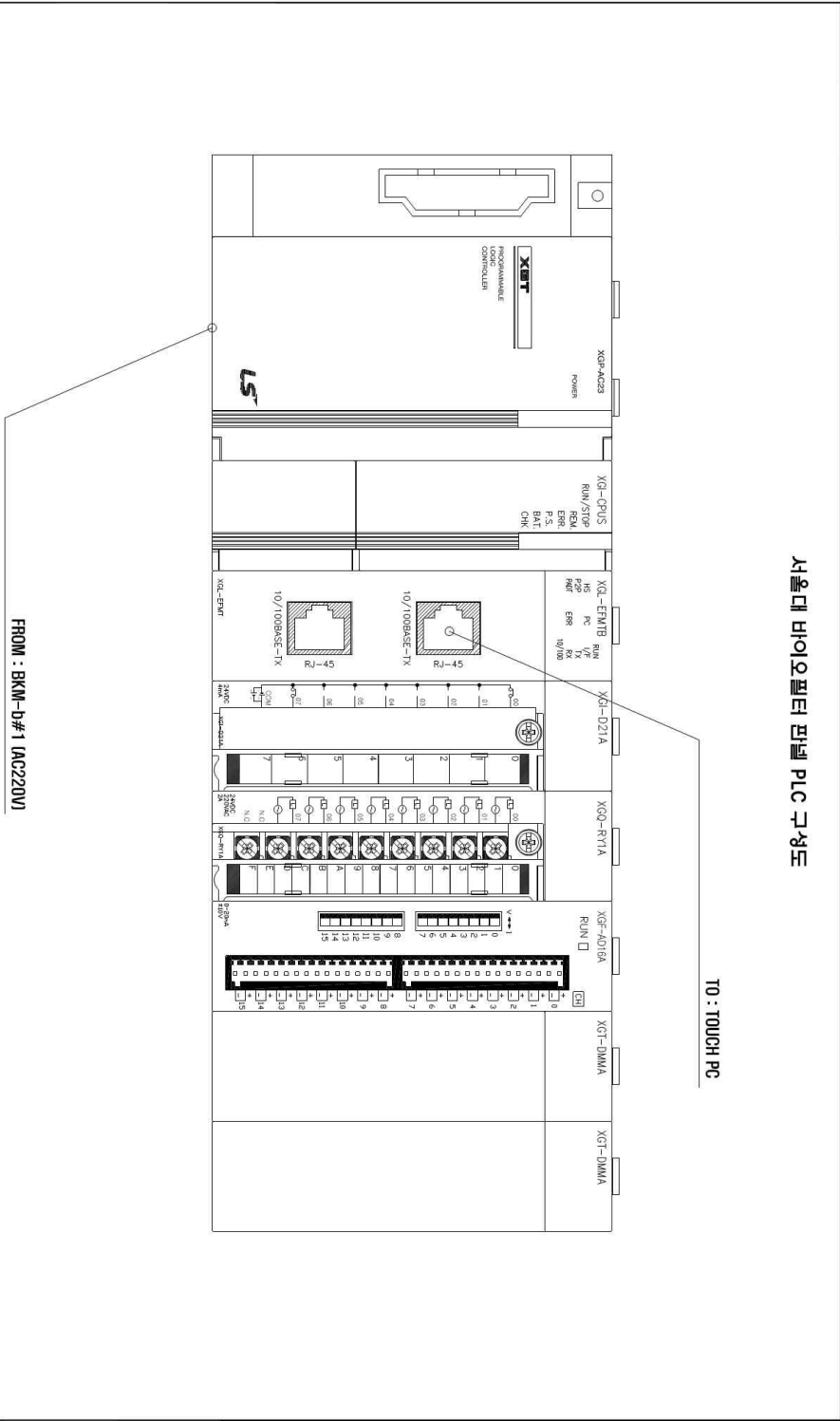
평성 컴퓨터이나 도시 약취자감 테스트 설비 시스템 구축

유도하양정 바이오펀터 관널 단선결선도

Scale	FILE NAME
NONE	
Size	DWG NO.
A3	S-007
	SHEET

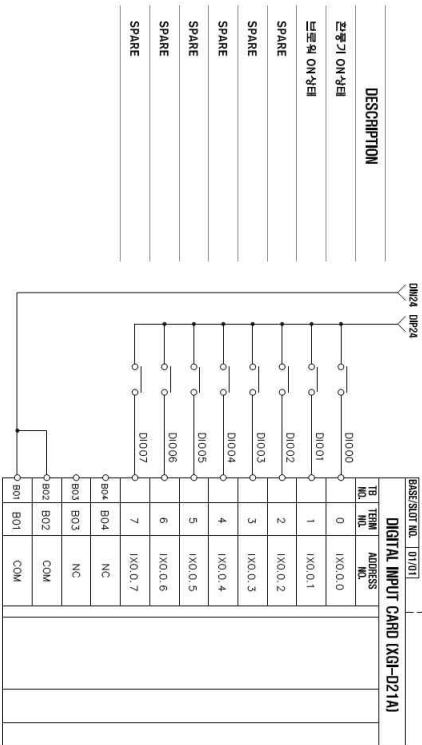
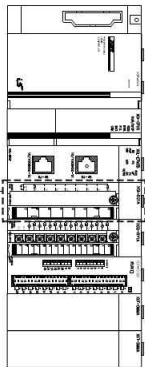


### 서울대 바이오필터 편별 PLC 구성도



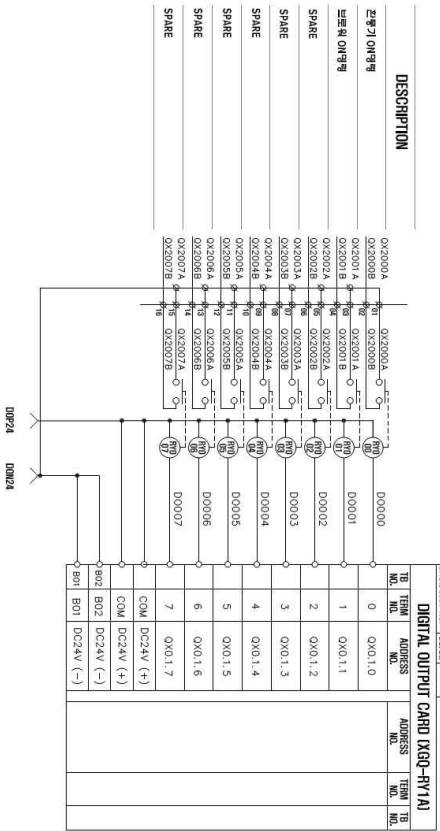
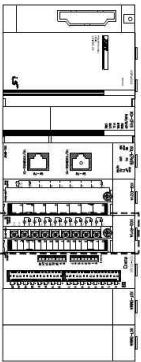
<b>JIS (주) 주안정보시스템</b>				Project Name		정성 권태이나 등사 약취지권 테스트 설비 시스템 구축	
Revision				Title		안원하양정 바이오필터 편별 PLC 구성도	
Date	Drawn	Checked	Reviewed	Approved	Scale	NONE	FILE NAME
2022.04.28	정성권	정성권			A3		S-009
Specimen					Size	Scale	FILE NAME
					A3	NONE	DWG No.
							SHEET

# PLC DIGITAL INPUT WIRING DIAGRAM



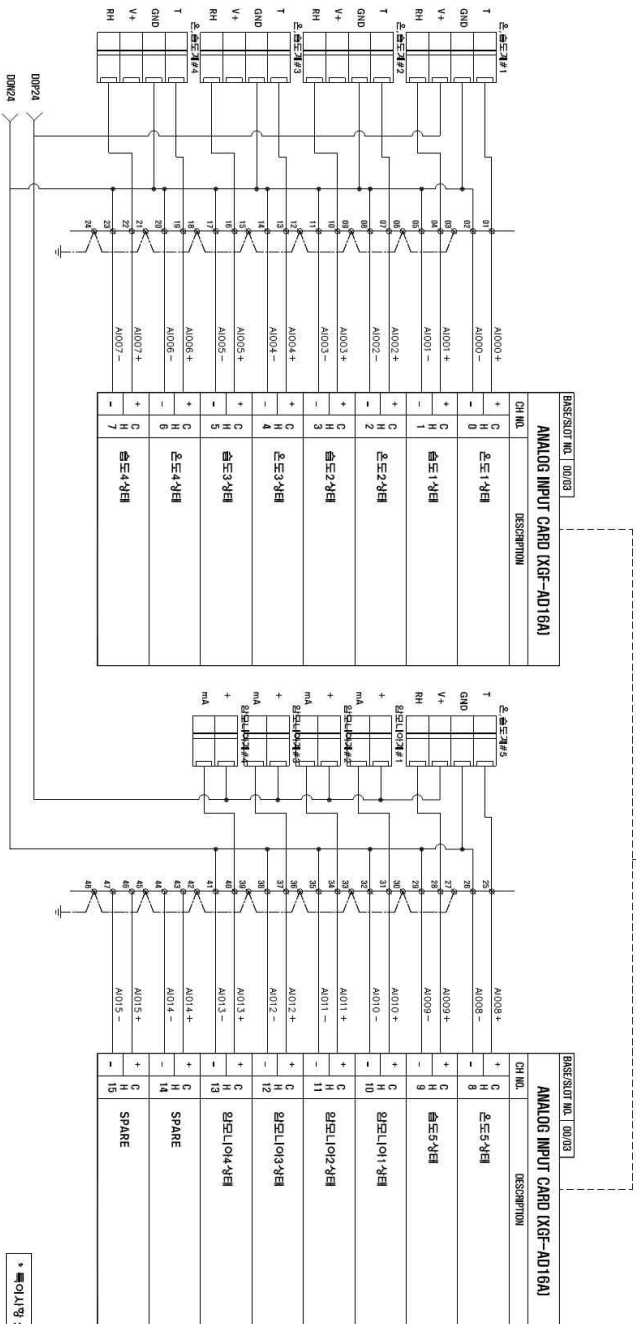
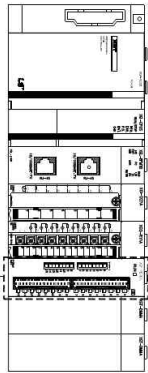
<b>JIS (주) 주안정보시스템</b>				Project Name	
평성 권터메이커 든사 약취저관 테스트 설비 시스템 구축				Title	
유로이오정 PLC DIGITAL INPUT WIRING DIAGRAM				Title	
Division	Drawn	Checked	Reviewed	Approved	Scale
Signature	11.2.2011	11.2.2011			NONE
					Size
					A3
					FILE NAME
					DWG No.
					S-010
					SHEET

# PLC DIGITAL OUTPUT WIRING DIAGRAM



<p><b>JIS (주) 주인정보시스템</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Draft    <input type="checkbox"/> Design    <input type="checkbox"/> Check    <input type="checkbox"/> Revised    <input type="checkbox"/> Approved                  Date: 2023.07.20    Date: 2023.07.20    Date: 2023.07.20    Date: 2023.07.20    Date: 2023.07.20             </p>	Project Name 평생 컴퓨터나 문서 원격저장 테스트 챔버 시스템 구축	Title 오프라인 PLC DIGITAL OUTPUT WIRING DIAGRAM	Size    Scale A3    NONE	TITLE NAME DWG NO.    S-011 SHEET
---	---	---	-----------------------------	---

# PLC ANALOG INPUT WIRING DIAGRAM



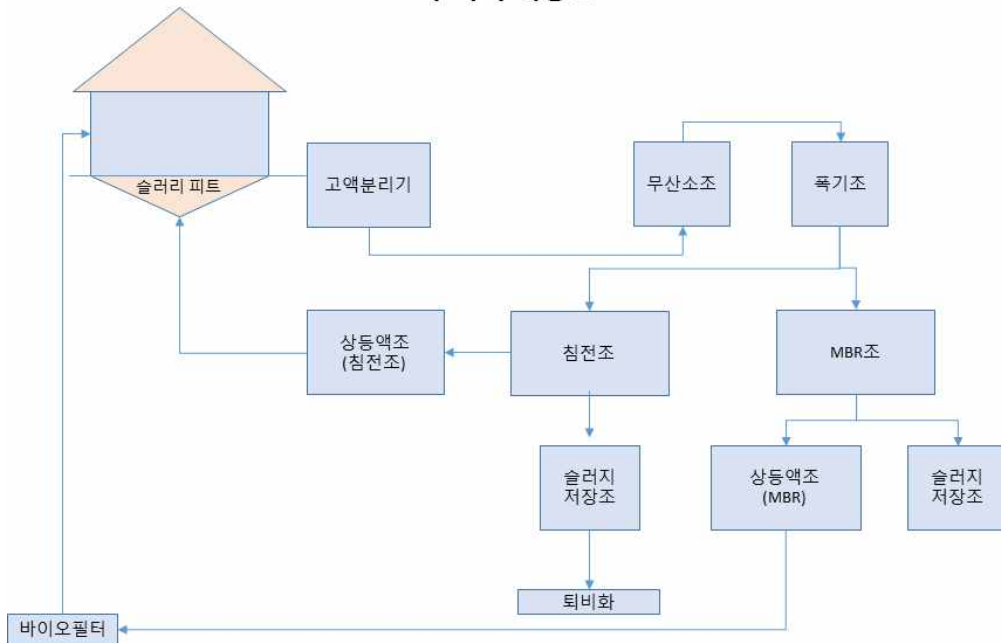
\* 표시사항 : 온도계 및 온도계는 24V LOOP결선함.

<b>JIS (주) 주인정보시스템</b>				Project Name		환경 리터이나 토시 약취리리 테스트 설비 시스템 구축 오프라인 PLC ANALOG INPUT WIRING DIAGRAM		Title	
Drawn	Drawn	Checked	Reviewed	Approved	Scale			FILE NAME	
Signature	1/4/2020	김진영			Size	NONE	DWG NO.	S-012	
					A3			SHEET	

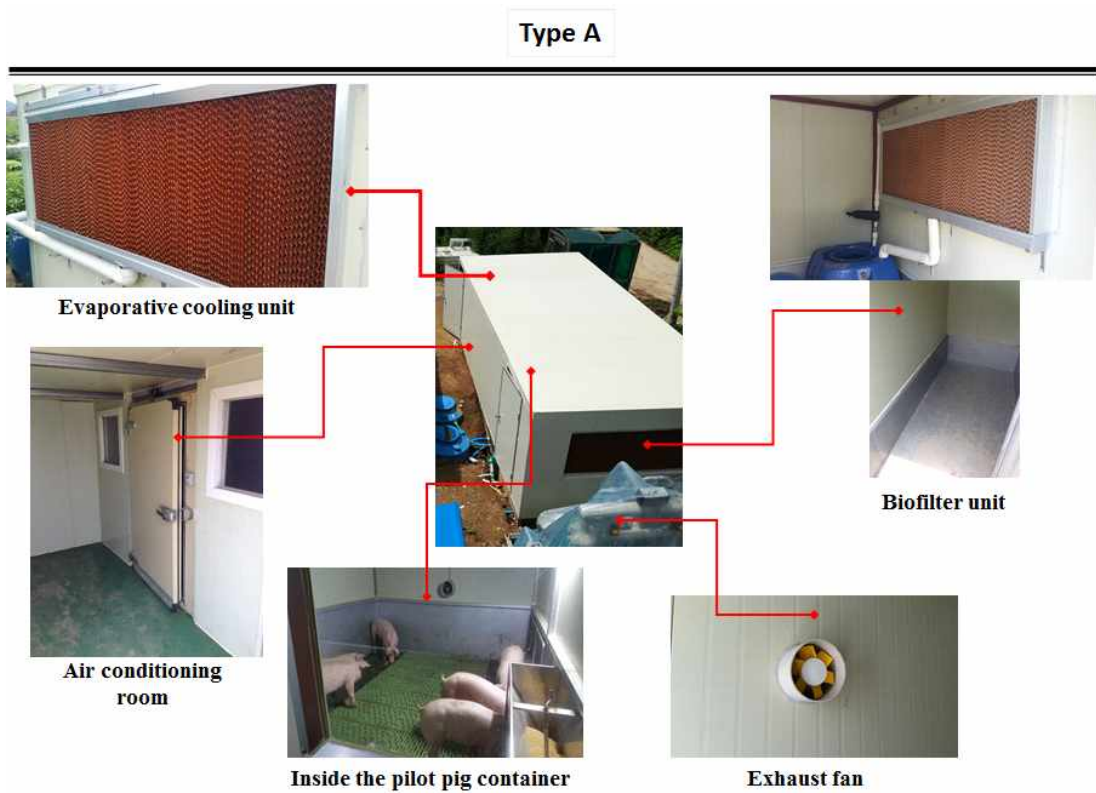


7. 바이오필터 및 피트 순환수 제어공정 구성완료

수처리 계통도

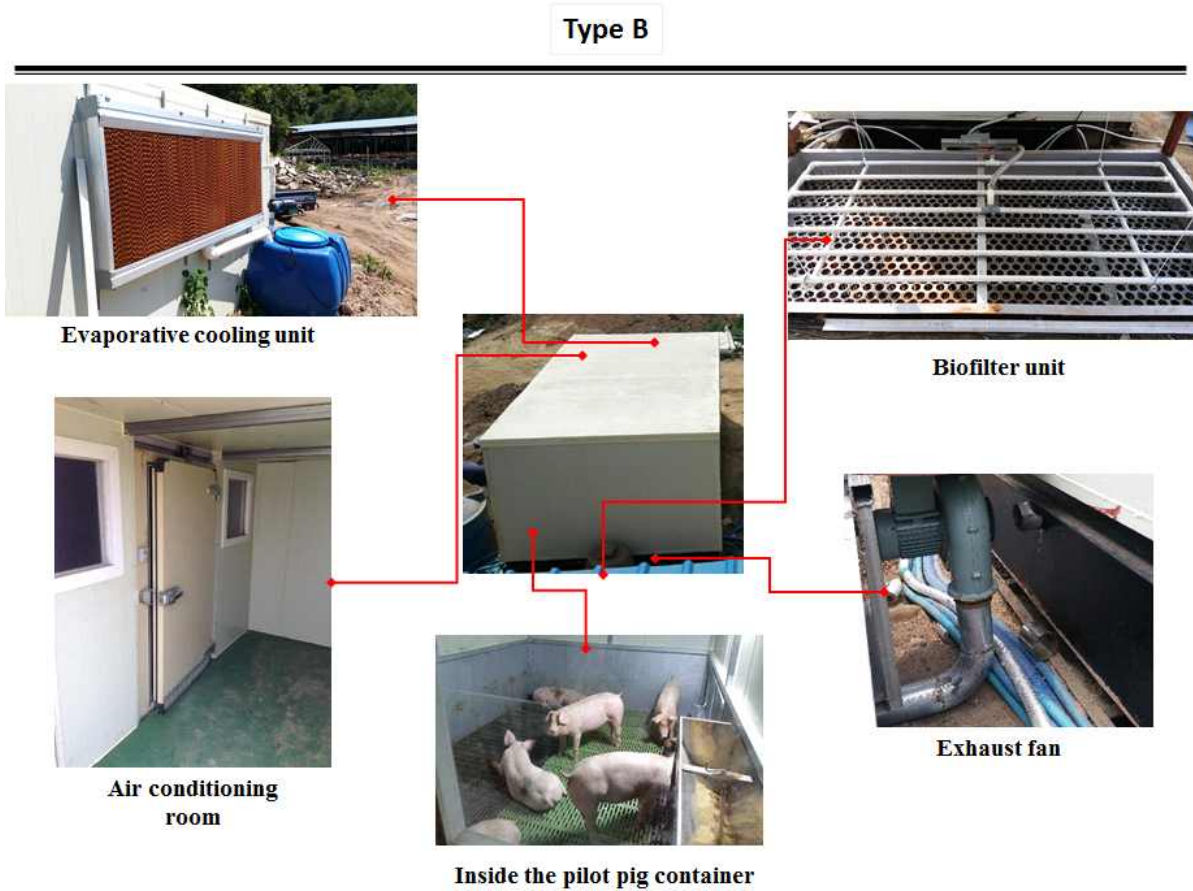


[그림 2.51] 악취 제어를 위한 통합 ICT 돈사 및 바이오필터의 순환수 제조 제어흐름도



[그림 2.52] A형 환기 시스템의 실상도(돼지사육시설 포함)

- [그림 2.52]는 A형 환기 시스템, [그림 2.53]은 B형 환기 시스템의 구성공정을 나타낸 것이며, 그 효율은 8장에 기술되어 있다.



[그림 2.53] B형 환기 시스템의 실상도(돼지사육시설 포함)

8. 실증 BF시스템 성능평가 및 실험 (측정센서 선발, 환경 및 BF 모니터링 기술개발, 운영 시뮬레이션 통한 시나리오 개발 포함)

#### PART I (돼지 성장 실험 및 시뮬레이션)

- 규모의 경제 및 효율성을 위해 대다수의 돼지가 실내에서 사육되어 왔다. 이러한 인공 환경은 돼지 및 근로자의 생산성과 건강 상태에 큰 영향을 미친다. 통합적 양돈업이 발전하면서 돈사 설계가 획일화되었기 때문에 설계상의 특정 오류는 동일한 설계를 지닌 모든 돈사에서 공통적으로 나타날 수 있다. 따라서 환기 및 환경 제어에 대한 기본 설계 원칙 준수와 필요성이 증가하고 있다.
- 돼지를 둘러싼 환경은 매우 복잡하여 평가가 어려워 있다. 일례로 일부 연구에 따르면 돼지

는 상대적으로 장시간 동안 매우 높은 수준의 암모니아에 노출될 수 있으나 이에 따른 생산성 감소는 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 고농도의 암모니아에 다량의 먼지, 다른 가스 및 습기가 더해지면 매우 치명적일 수 있다. 가스와 먼지의 조합은 돼지뿐만 아니라 근로자의 건강 상태에도 잠재적으로 매우 복잡하고 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 동 보고서는 돈사 환경 조건 개선을 위해 두 가지 유형의 환기 시스템, 희석 또는 혼합 환기 시스템 (A형)과 비희석 환기 시스템 (B형)을 제작, 설치 및 운영하였으며, 시험 결과는 돼지 연령에 따라 네 부분으로 구분 하였다.

## 재료 및 방법

### 샘플링 전략

- 두 가지 유형의 환기 시스템(A형 및 B형)에서 물리적 매개 변수는 팬 바닥 위 약 1m 높이, 돈사 내부 및 외부, AC ROOM(공기조화실 입구), 바이오필터(BF) 외부 및 피트 내부에서 측정 하였다.. 공기 중 부유 박테리아, 악취 화합물 및 암모니아에 대한 샘플링 또한 동일한 장소들에서 이루어짐. 피트를 위한 물리적 매개 변수들은 악취 화합물 및 암모니아 샘플링은 슬러리 표면 위의 0.5m(피트 내부)에서 이루어졌으며, 모든 데이터 수집은 두 유형의 환기 시스템에서 오전(사료 지급 전)과 오후 두 차례 수행하였다.

### 물리적 매개 변수

- 대기 온도와 상대 습도는 온습도 기록계(SK-110TRH, SATO, Tokyo 및 Japan)를 사용하여 측정 하였으며, 풍속은 풍속계(Model 6112, KANOMAX, Osaka, Japan)로 측정 하였다.

### 공기 중 미생물

- 공기 중 미생물 수는 표준 페트리 접시(90~15 mm, SPL Life Sciences, 포천, 한국)를 사용하여 낙하세균(settling plate)을 포집하는 방법을 통해 측정하였으며, Tryptic soy agar(Merck)를 사용하여 총 미생물 수(TBC)를 계산하였다. Chromocult Coliformen agar(Merck)를 총 대장균류(Total Coliform) 수와 총 대장균(Total E.coli, TE) 수 계산에 사용 하였다. 샘플링 후 플레이트를 실험실로 옮겨져 박테리아는 37 °C에서 배양되었고, 미생물은 24시간, 대장균류와 대장균은 48시간 동안 배양 하였다. 균집은 공기 1m<sup>3</sup> 당 균집(colony) 형성 단위로 계산 하였다.

### 암모니아 가스

- 악취 화합물과 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 비롯한 온실 가스 농도는 Gastec 검출기 튜브를 사용한 GASTECH 장치(Pump kit No. 101)를 통해 ppm 단위로 측정 하였다.

## GC-MS를 이용한 악취 화합물 분석

- 공기 샘플링은 공기가 SCB에서 저체적(low-volume) 공기 시료 채취기(Gilian, Clearwater, FL, USA)에 연결된 1L Tedlar bag (SKC Inc., USA, PA, USA)으로 이동하면서 세 지점에서 유속  $1.0 \text{ Lmin}^{-1}$ 에서 세 번 이루어졌다. 샘플링 후 Tedlar bag은 즉시 실험실로 옮겨졌고 75-mm carboxen-poly dimethyl siloxane 유형의 고상 미세 추출 (SPME) 섬유 (Supelco, Bellefonte, PA, USA)를 사용하여 10~12회 분석 하였다. 시료는 Supelco의 수동 섬유 홀더 (Belle fonte, PA, USA)로 30분 동안 SPME 섬유를 사용하여 추출한 후 SPME 섬유를 Tedlar bag에서 제거하고 분석을 위해 가스 크로마토그래피 질량 분석계의 주입구에 즉시 삽입 하였다. GC 분석 프로토콜 세부 사항을 위해 Yao.etal (Yao et al., 2011)를 참조하였으며, 농도는 ppbv( $\text{nmol}^{-1}$ )로 계산 하였다. 본 연구에서는 측정된 휘발성 유기 화합물은 10종으로 황화화물 3종(MM, 디메틸설파이드(DMS), 디메틸디설파이드(DMDS)), 휘발성 지방산 6종(아세트산(AA), 프로피온산(PA), 부티르산(BA), 이소부티르산(I-BA), 발레르산(VA) 및 이소발레르산(I-VA)) 및 석탄산 크레졸(phenolic-cresol) 1종이다.

## 생물학적 폐수 분석

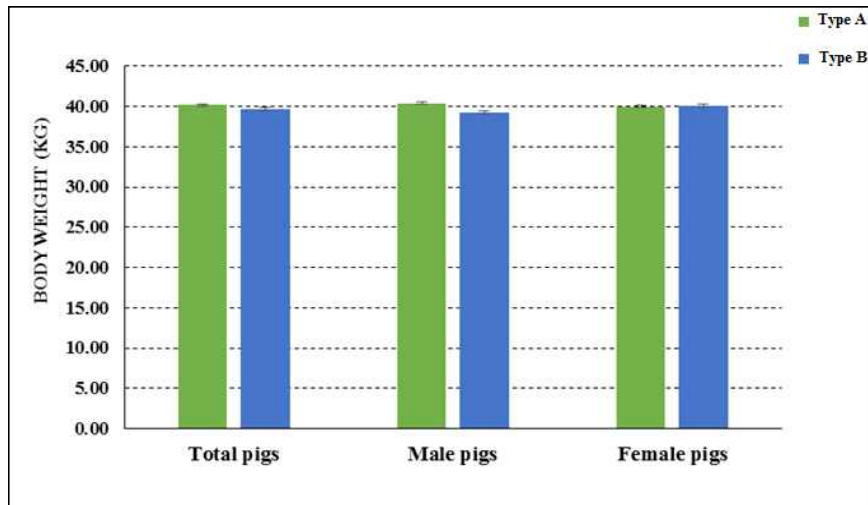
### 열 화상 카메라

- 돈사 내 병원균의 존재는 가축 폐사로 이어질 수 있기 때문에 특히 비육단계에서는 더하다. 대규모 비육단계에서 임상 질병의 조기 징후 감지를 위해 가축에 대한 개별검사를 수행하는 것은 경제적으로 무리가 있다. 따라서 질병의 초기발견을 위해 축사 단위의 방법을 사용하는 것이 경제적으로나 건강상으로 모두 유리하다. 본 연구에서 두 유형의 환기 시스템에서 폐사를 유발하는 질병에 대한 조기 검출 방법으로 적외선 열화상 기술을 사용하였다.

## 결과 및 논의 Part 1:

### 실험 설계

- 실험 0 일째 돼지의 평균 체중은 40kg이었다([그림 2.54]). 2가지 유형의 환기 시스템에서 사료 급여를 통해 수컷과 암컷의 평균 체중의 유지되도록 하였다([표 2.9]). 실험 0일째의 주간 돼지 활동 모습이 [그림 2.55]에 나타나 있다.



[그림 2.54] A형과 B형 환기 시스템에서 실험 0일째의 평균 돼지 체중

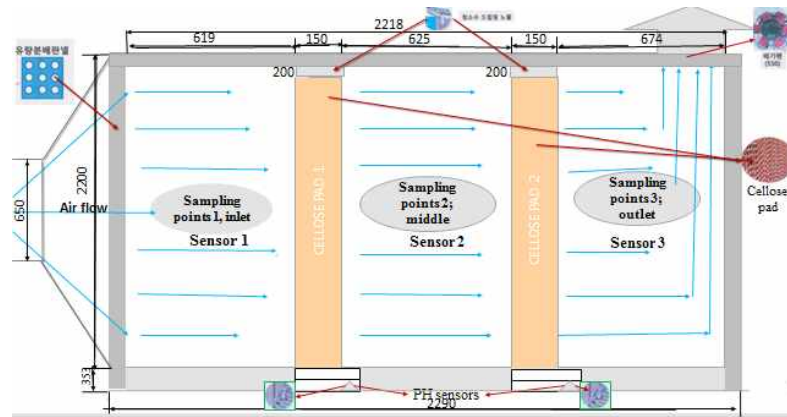


[그림 2.55] A형과 B형 환기 시스템에서 돼지 활동 모습

[표 2.9] 실험 0일째 돼지 초기 체중에 대한 통계 분석

Type A			Type A			Type B			Type B		
Pig Code	Sex	Weight	Pig Code	Sex	Weight	Pig Code	Sex	Weight	Pig Code	Sex	Weight
1	Male	37	1	Male	37	2	Male	45	2	Male	45
10	Female	38.8	5	Male	39	11	Male	38	11	Male	38
3	Female	43	8	Male	39	12	Female	39.4	13	Male	36
4	Female	31	9	Male	46.6	13	Male	36	16	Male	38
5	Male	39		Average	40.4	14	Female	43.4		Average	39.25
6	Female	45.2		STDEV	4.24	15	Female	38.5		STDEV	3.95
7	Female	42	10	Female	38.8	16	Male	38	12	Female	39.4
8	Male	39	3	Female	43	17	Female	40	14	Female	43.4
9	Male	46.6	4	Female	31	18	Female	39	15	Female	38.5
	Average	40.18	6	Female	45.2		Average	39.70	17	Female	40
	STDEV	4.7	7	Female	42		STDEV	2.8	18	Female	39
				Average	40					Average	40.06
				STDEV	5.53					STDEV	1.95

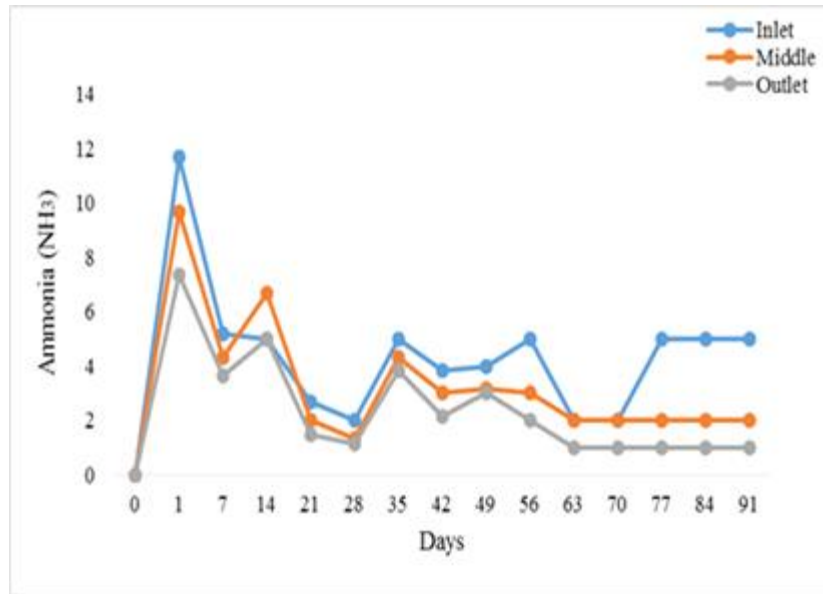
- 돈사로부터 배기 공기의 악취를 희석시키기 위하여 사용한 바이오 필터의 크기는 돈사의 최대 환기율에 대응할 수 있도록 충분히 커야 한다. 이 환기율은 돈사의 성장단계(체중) 및 가축수에 따라 다르다. 그것은 공기 흐름율과 공기 유속으로 나타낸다. 물리적 변수, 즉, 환기율, 정압차에 대한 표본을 감지기를 사용해서 바이오 필터의 세 가지 상이한 표본추출 지점으로부터 채취하였다.



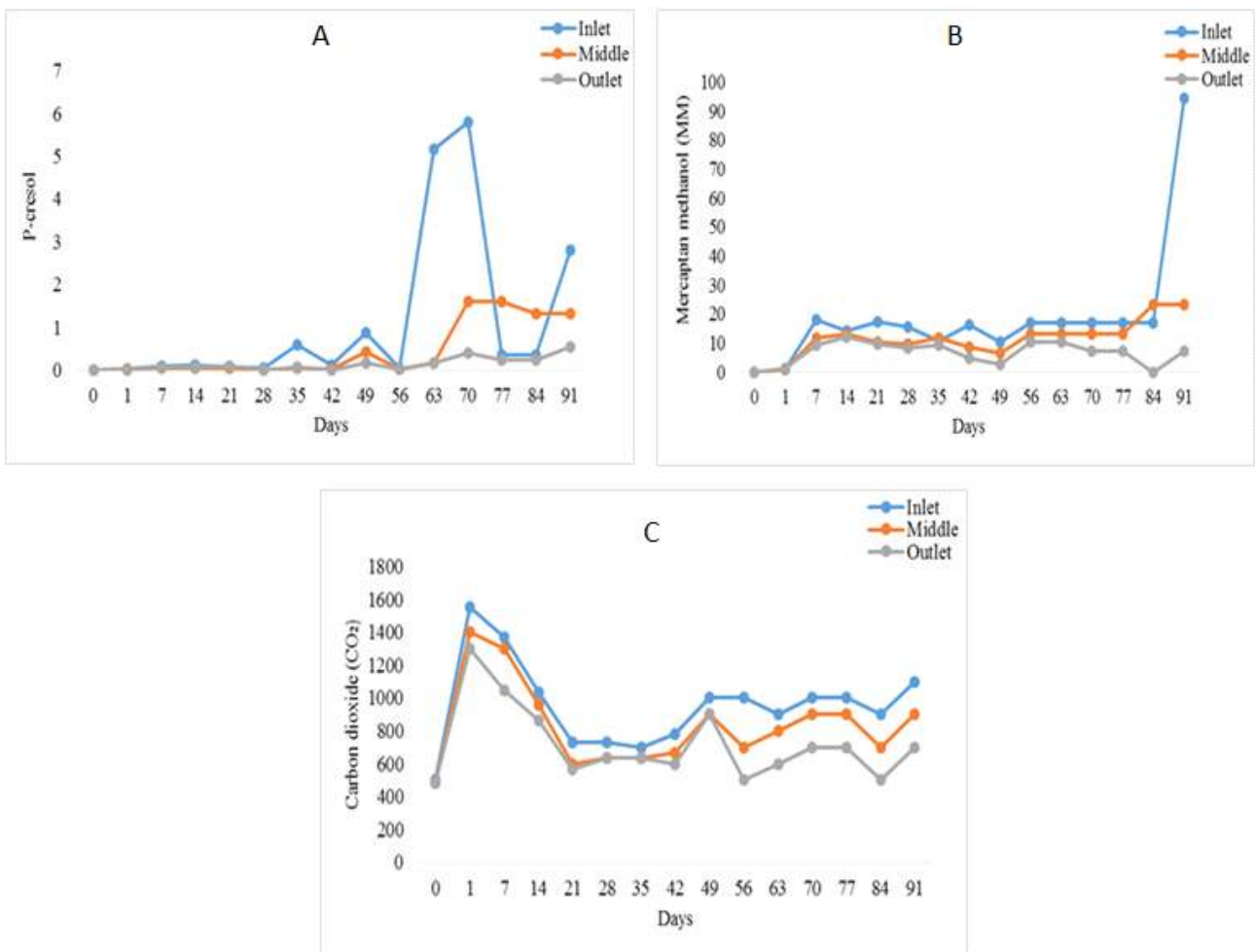
[그림 2.56]. 바이오 필터의 plan view

#### 바이오 필터의 공기 환경으로부터 나온 악취화합물 및 온실 가스에 대한 분석 결과

- 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 폐기물들에 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 ( $\text{NH}_3$ ), 이산화탄소 ( $\text{CO}_2$ )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 2.57]는 암모니아 농도가 출구보다 입구에서 더 높았음을 보여 주는데, 이는 암모니아의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 이루어졌음을 나타낸다.



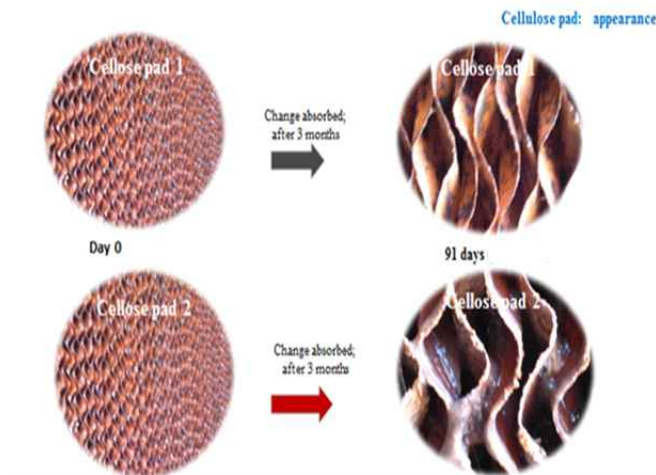
[그림 2.57]. 바이오 필터 패드 전반의 암모니아 발생량 비교 (단위 : ppm)



[그림 2.58]. 바이오 필터 패드 전반에 걸친 악취 저하. (A : P- 크레졸 (ppbv)), B : 메르캅탄 메탄올 (ppbv), C : 이산화탄소) (단위 : ppm)

- 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>): 결과[그림 2.58]는 실험 전체를 통해서 이산화탄소 농도가 출구보다는 입구에서 더 높았다는 것을 보여 준다. 두 번째 필터 후에 이산화탄소 농도가 감소하였는데, 이것은 이산화탄소를 분해하는 미생물이 두 번째 섬유소 패드에 이미 존재해 있어서 출구 공기 속 이산화탄소의 농도를 감소시키는 데 일조하였다는 것을 의미한다. 또한, 악취 원인 화합물의 분해가 바이오 필터 시스템 내에서 발생했음을 나타낸다.

### 바이오 필터 배지(fiber pad)서식 미생물 분석

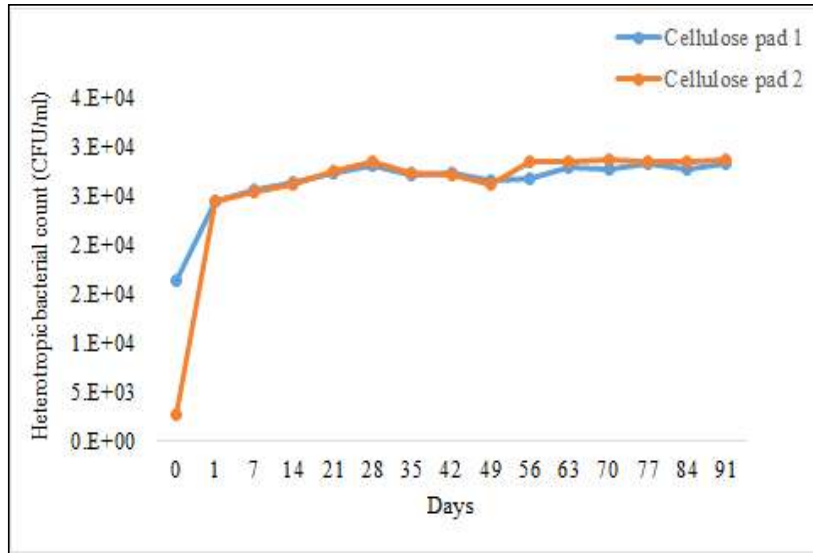


[그림 2.59]. 실험을 시작하기 전과 실험 91일이 지난 후 바이오 필터 배지(fiber pad);

- 일반적으로 양돈장 NH<sub>3</sub>와 악취희석 필터는 두 compartment 로 나뉘는데, 이는 각 compartment별로 서로 다른 악취화합물을 대사(代謝)시키기 위함이다. 첫 번째 pad는 먼지, NH<sub>3</sub>, 용해성 유기 화합물들이 필터 표면 dripping water물에 용해되며, 이를 먹이로 취하는 pad 표면에 서식하는 미생물에 의하여 제거된다. pad는 용해성이 약한 유기 악취화합물들을 제거하기 위해 pad 표면의 액상 경계층을 최소화함으로써 dripping water흐름을 제한한다.



fiber pad 에 따른 유기영양 세균종과 세균수 분석

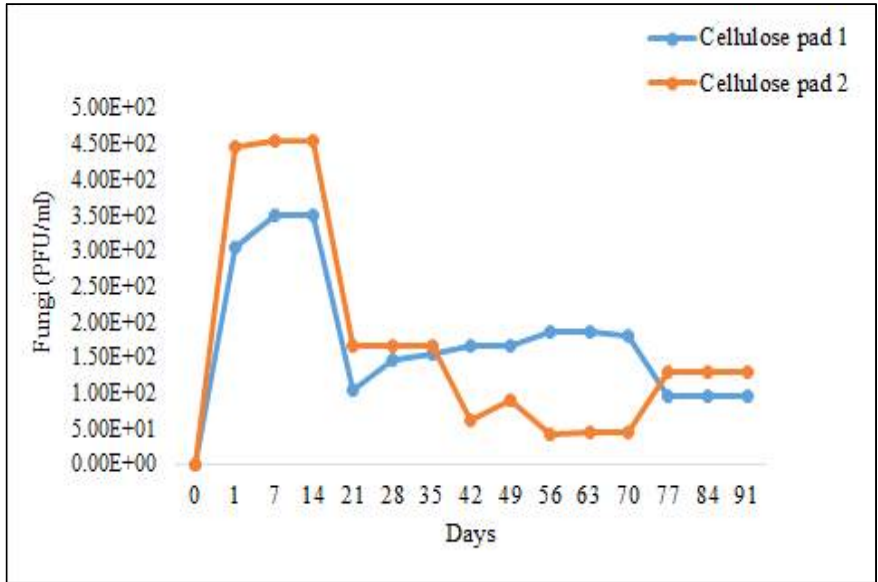


[그림 2.60] 경시적 fiber pad에 부착된 배양 가능한 유기영양의 총균수 세균(CFU/ml)

○ [그림 2.60]는 실험 전반에 걸쳐서 유기영양의 세균 농도가 fiber pad 2에서 fiber pad 1 에 비해 다소 높았다. 이것은 세균 성장이 시간과 더불어 증식됨을 의미한다. 70일 후에도 유기영양 세균의 수는 거의 변하지 않았다. 약취 화합물의 지속적인 분해가 생물필터 시스템 내에서 일어나고 있음을 나타낸다.

fiber pad 서식 총 균류 수(PFU/ml)

○ [그림 2.61]는 실험 전체에 걸쳐 (PFU/ml)총균수는 fiber pad 2에서 fiber pad 1보다 많았다. 이는 시간과 더불어 증식되었다는 것을 의미한다. 77일 후에도 fiber패드 1,2에서 균류의 수는 크게 변하지 않았으며, 생물필터 시스템이 약취 가스 감소 및 안정화에 유용하다는 것을 의미한다.



[그림 2.61] 경시별 fiber pad 별 부착 총균수(PFU/ml)

### 돼지 생산성

- 돈사가 점차 대규모 및 밀폐화됨에 따라 돈사의 환경관리 정밀성이 중요한 현안으로 대두되고 있다. 연구에 따르면 돼지는 상대적으로 장시간 동안 고농도의 암모니아, 다량의 먼지, 다른 가스 및 습기가 더해지면 매우 치명적일 수 있다고 보고되고 있다. 최근에는 ‘one health’라는 theme하에 돼지뿐만 아니라 양돈장 작업인의 건강도 고려해야 하므로 돈사의 청정환경이 매우 중요하게 되었다.
- 본 연구에서는 두 유형의 환기 시스템, 희석 또는 혼합 환기 시스템 (A형)과 비희석 환기 시스템 (B형)을 제작, 설치하여 돼지의 생산성, 이의 환경성 및 악취저감 효율을 실증실험하였다.

### 재료 및 방법

#### 샘플링 전략

- 두 가지 유형의 환기 시스템(A형 및 B형)에서 물리변수는 플라스틱 바닥 위 약 1m 높이 (돼지 체고(體高)), 돈사 내부 및 외부, AC ROOM(공기조화실 입구), 바이오필터(BF) 외부 및 피트 내부에서 측정하였다. 공기 중 부유 박테리아, 악취 화합물 및 암모니아에 대한 샘플링 또한 동일한 지점에서 측정하였다. 피트에서의 악취 화합물 및 암모니아 샘플링은 슬러리 표면 위의 0.5m(피트 내부)에서 수행 하였다. 모든 데이터 수집은 두 유형의 환기 시스템에서 오전(사료 지급 전 8AM)과 오후 (3PM) 두 차례 수행 하였다.

### 물리적 매개 변수

- 대기 온도와 상대 습도는 온습도 기록계(SK-110TRH, SATO, Tokyo 및 Japan)를 사용하여 측정되며, 유속은 풍속계(Model 6112, KANOMAX, Osaka, Japan)로 측정하였다.

### 공기 중 미생물

- 공기 중 미생물 수는 표준 petri-dish (90~15 mm, SPL Life Sciences, 포천, 한국)를 사용하여 낙하세균(settling plate) 방법을 통해 측정 하였으며, Tryptic soy agar(Merck)를 사용하여 총 미생물 수(TBC)를 계산하였다, Chromocult Coliformen agar(Merck)를 총 대장균류(Total Coliform) 수와 총 대장균(Total E.coli, TE) 수 계산에 사용함. 샘플링 후 플레이트를 실험실로 옮겨져 박테리아는 37 °C, 미생물은 24시간, 대장균류와 대장균은 48시간 동안 배양하였다. 균집은 공기 1m<sup>3</sup> 당 균집(colony) 형성 단위로 계산하였다.

### 암모니아 가스

- 악취 화합물과 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 비롯한 온실 가스 농도는 Gastec 검출기 튜브를 사용한 GASTECH 장치(Pump kit No. 101)를 통해 ppm 단위로 측정하였다.

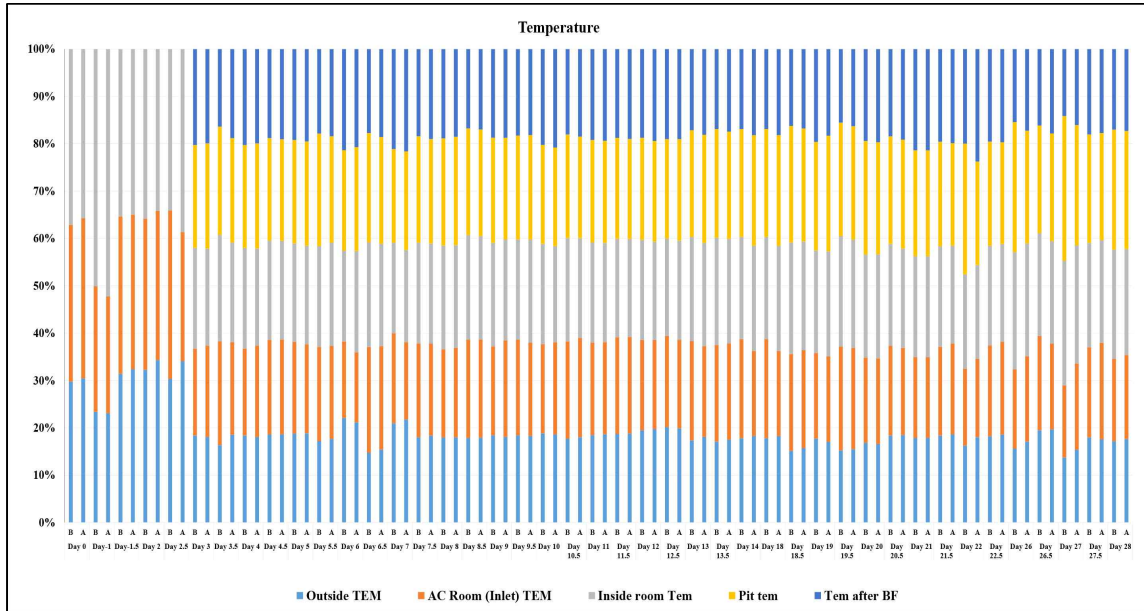
### 생물학적 처리수 분석

#### 열 화상 카메라

- 돼지 사육, 특히 비육단계에서 병원균의 존재는 폐사로 이어질 수 있기 때문에 양돈에 치명적일 수 있다. 질병의 조기 징후 감지를 위해 가축에 대한 개별검사를 진행하는 것은 경제적으로 무리가 있다. 따라서 질병의 초기 검출을 위해 축사 개별단위 방법을 사용하는 것이 경제성 및 건강상 관점 유용하다. 본 연구에서 두 유형의 돼지 환기 시스템에서 폐사를 유발하는 질병에 대한 조기 검출 방법으로 적외선 열화상 기술을 사용하였다.

### 돼지 생산 환경 온도

- 본 연구에서 외기, 공조실, 사육실, 피트, BF 실 등 5개 지점에 두 유형의 환기시스템에 가동, 나동에 대한 경시적 온도 분포는 [그림 2.62]와 같다..



[그림 2.62] A형, B형 환기시스템의 경시적 지점별 온도분포

- 외기온은 14 ~ 20°C 범위에 있으며 ([표 2.9]). 실험기간 동안 외기온은 거의 일정하였다. ([그림 2.62] 청색 bar). 물론 연구는 계절적 요인을 반영할 수 있도록 지속되어야 한다.
- 공조실의 온도는 14~25°C ([표 2.9]) 범주에 있으며, 실험기간 동안 일정하였다.
- 사육실 온도 A형(회석식)이 B형(비회석식)보다 약 높게 나타났다. 사육실의 평균온도는 16 ~ 33°C으로 공조실보다 약 2~8°C ([표 2.9]) 높게 나타났다. 물론 이는 돼지의 현열 (sensible heat) 때문이다. 또 환기시스템 유형에 따른 온도차는 공기흐름의 형태에 따른 듯 하다. A형의 경우 기본 환기 기작이 희석(dilution)이므로 상대적으로 높은 온도의 공기가 혼합에 의해 균일하게 되지만 비회석식 plug flow의 경우 상대적으로 낮은 온도의 입기류가 기존 실내공기와 혼합되지 않고 그대로 피트로 배기되기 때문으로 예측된다.
- 피트의 온도편차는 20~33°C ([표 2.9])로서 실내와 같거나 높게 (하한가) 나타났다. 이는 피트에서 돈슬러리가 생분해되면서 발생하는 생분해 exothermic free energy ( $\Delta G = -\text{value}$ ) 때문 이해된다. 또한 container perimeter를 흡으로 피복하여 단열효과를 높인 것도 하나의 원인일 수 있다.
- BF 온도범주는 14 ~ 25°C ([표 2.9])로서 외기온과 하한가 공조실과 상한가와 거의 같았다. 이는 BF실이 외부와 접촉되어 있기 때문으로 판단된다 (청색bar [그림 2.62]).

[표 2.9]. 경시적 각 지점별, 환기유형별 온도별화

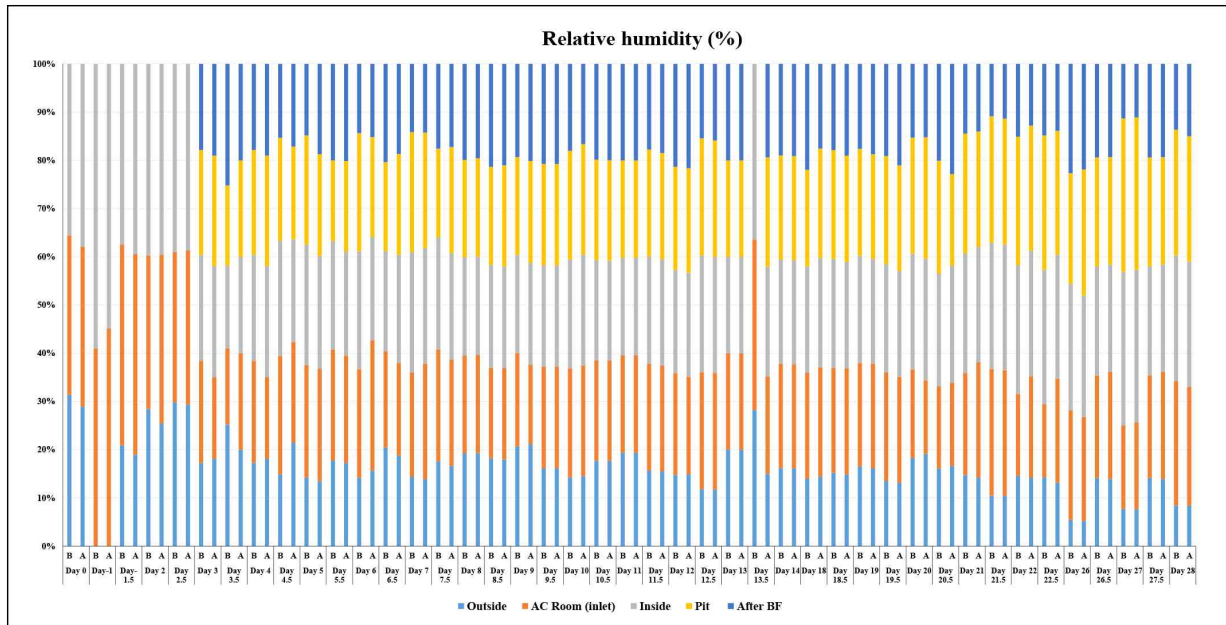
	Type	Outside		AC Room (inlet)		Inside (room)		Inside (pit)		After BF	
		Ave	STDEV	Ave	STDEV	Ave	STDEV	Ave	STDEV	AVE	STDEV
Day 0	B	16.47	0.23	18.37	0.15	20.60	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00

	A	16.47	0.23	18.30	0.17	19.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Day-1	B	14.93	0.06	16.90	0.60	31.97	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00
	A	14.40	0.00	15.37	0.25	32.57	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Day-1.5	B	20.50	0.52	21.70	0.35	23.07	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
	A	20.50	0.52	20.67	0.06	22.13	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Day 2	B	16.97	0.64	16.80	0.00	18.83	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00
	A	16.97	0.64	15.57	0.06	16.90	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Day 2.5	B	21.00	0.36	24.63	0.46	23.57	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	A	21.00	0.36	16.80	12.12	23.83	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Day 3	B	17.13	0.06	17.13	0.12	19.87	0.65	20.27	0.87	18.90	0.17
	A	17.13	0.06	18.30	0.00	19.50	0.40	21.10	0.44	18.90	0.17
Day 3.5	B	17.73	0.06	23.80	0.30	24.43	0.40	24.80	0.00	17.77	0.06
	A	17.73	0.06	18.70	0.10	20.13	0.40	21.07	0.12	17.97	0.06
Day 4	B	17.13	0.06	17.13	0.12	19.87	0.65	20.27	0.87	18.90	0.17
	A	17.13	0.06	18.30	0.00	19.50	0.40	21.10	0.44	18.90	0.17
Day 4.5	B	24.70	0.00	26.53	0.12	27.83	0.67	28.73	0.12	24.93	0.06
	A	24.70	0.00	26.53	0.12	27.67	0.31	28.40	0.20	25.23	0.06
Day 5	B	20.53	0.15	21.20	0.00	22.73	0.45	23.90	0.20	20.97	0.06
	A	20.53	0.15	20.47	0.06	22.67	0.90	23.97	0.21	21.23	0.21
Day 5.5	B	19.53	0.06	22.50	0.17	24.17	0.45	27.00	0.10	20.23	0.15
	A	19.53	0.06	21.77	0.06	24.10	0.30	24.87	0.31	20.37	0.12
Day 6	B	22.20	0.36	16.20	0.00	19.30	0.80	21.33	0.57	21.43	0.50
	A	22.20	0.36	15.53	0.21	22.43	0.15	23.00	0.17	21.70	0.69
Day 6.5	B	16.27	0.06	24.77	0.15	24.47	0.35	25.53	0.25	19.60	0.36
	A	16.27	0.06	23.03	0.25	22.83	0.40	23.77	0.40	19.60	0.36
Day 7	B	22.47	0.15	20.33	0.45	20.47	0.45	21.20	0.30	22.60	0.56
	A	22.47	0.15	16.87	0.35	20.10	1.11	21.53	0.35	22.30	0.10
Day 7.5	B	19.17	0.55	21.20	0.00	22.70	0.50	23.93	0.35	19.63	0.06
	A	19.17	0.55	20.27	0.12	22.10	0.30	23.03	0.45	19.80	0.00
Day 8	B	16.80	0.20	17.43	0.12	20.53	0.83	21.20	0.85	17.63	0.15
	A	16.80	0.20	17.70	0.00	20.23	0.70	21.40	0.20	17.30	0.30
Day 8.5	B	19.93	0.49	23.20	0.20	24.67	0.21	25.17	0.06	18.70	0.20
	A	19.93	0.49	23.03	0.12	24.27	0.25	25.00	0.10	18.87	0.06
Day 9	B	20.80	0.26	21.23	0.06	24.67	0.15	25.13	0.15	21.13	0.06
	A	20.80	0.26	23.43	0.25	24.53	0.31	24.77	0.15	21.53	0.12
Day 9.5	B	23.73	0.15	26.07	0.06	27.27	0.32	28.30	0.20	23.53	0.15
	A	23.73	0.15	25.50	0.00	28.23	0.21	28.63	0.06	23.53	0.15
Day 10	B	21.90	0.00	21.90	0.00	24.63	0.78	24.30	0.26	23.50	0.10
	A	21.90	0.00	22.90	0.00	23.87	0.35	24.50	0.20	24.43	0.06
Day 10.5	B	23.07	0.06	26.80	0.00	28.47	0.06	28.57	0.06	23.50	0.10
	A	23.07	0.06	26.87	0.12	27.03	0.15	27.47	0.06	23.67	0.12
Day 11	B	20.73	0.12	21.97	0.49	23.77	0.31	24.27	0.15	21.53	0.06
	A	20.73	0.12	21.60	0.00	23.27	0.55	23.97	0.12	21.50	0.10
Day 11.5	B	25.10	0.10	27.40	0.00	27.90	0.10	28.63	0.38	25.13	0.15

	A	25.10	0.10	27.17	0.15	27.67	0.21	28.17	0.12	25.30	0.20
Day 12	B	22.47	0.40	22.03	0.06	24.40	0.35	24.87	0.12	21.60	0.00
	A	22.47	0.40	21.43	0.21	23.70	0.10	24.23	0.06	22.10	0.30
Day 12.5	B	26.30	0.10	25.07	0.06	26.83	0.25	27.40	0.20	24.77	0.15
	A	26.30	0.10	24.77	0.06	27.67	0.31	28.37	0.15	25.13	0.15
Day 13	B	18.50	0.20	22.40	0.61	23.43	0.31	24.07	0.06	18.27	0.15
	A	18.50	0.20	19.60	0.00	22.30	0.62	23.37	0.21	18.50	0.20
Day 13.5	B	18.97	0.32	22.63	0.15	25.17	0.25	25.47	0.15	18.73	0.15
	A	18.97	0.32	22.07	0.15	23.90	0.36	24.57	0.12	18.87	0.15
Day 14	B	16.93	0.06	19.87	0.40	20.50	0.20	21.63	0.25	16.03	0.25
	A	16.93	0.06	16.67	0.25	20.60	0.36	21.67	0.15	16.83	0.15
Day 18	B	16.93	0.06	19.87	0.40	20.50	0.20	21.63	0.25	16.03	0.25
	A	16.93	0.06	16.67	0.25	20.60	0.36	21.67	0.15	16.83	0.15
Day 18.5	B	15.80	0.10	21.37	0.15	24.60	0.35	25.70	0.20	16.93	0.06
	A	15.80	0.10	20.77	0.06	23.07	0.40	24.00	0.10	16.83	0.21
Day 19	B	15.07	0.51	15.37	0.06	18.40	0.95	19.50	0.17	16.63	0.15
	A	15.07	0.51	15.97	0.12	19.63	1.50	21.60	0.17	16.17	0.42
Day 19.5	B	16.23	0.06	23.33	0.06	24.90	0.26	25.53	0.47	16.53	0.15
	A	16.23	0.06	22.43	0.06	24.03	0.60	25.13	0.06	17.07	0.55
Day 20	B	14.50	0.44	15.53	0.06	18.73	0.68	20.67	0.68	16.73	0.25
	A	14.50	0.44	15.83	0.06	19.23	1.12	20.70	0.10	17.20	0.10
Day 20.5	B	17.67	0.06	18.27	0.25	20.63	0.55	21.83	0.12	17.70	0.20
	A	17.67	0.06	17.60	0.10	20.03	0.60	22.03	0.47	18.27	0.25
Day 21	B	16.43	0.21	15.73	0.12	19.60	0.95	20.57	0.31	19.67	0.55
	A	16.43	0.21	15.73	0.12	19.60	0.95	20.57	0.31	19.67	0.55
Day 21.5	B	19.90	0.46	20.30	0.44	23.00	0.26	23.93	0.15	21.17	0.15
	A	19.90	0.46	20.53	0.15	22.07	0.15	23.17	0.21	21.23	0.06
Day 22	B	15.87	0.42	15.87	0.06	19.43	1.05	16.97	0.48	19.47	0.06
	A	15.87	0.42	14.60	0.36	17.43	0.31	19.27	0.68	20.90	0.10
Day 22.5	B	20.23	0.32	21.37	0.12	23.37	0.55	24.43	0.21	21.70	0.26
	A	20.23	0.32	21.33	0.38	22.53	0.45	23.40	0.20	21.43	0.15
Day 26	B	12.20	0.56	13.07	0.06	19.33	1.61	21.43	0.60	12.03	0.15
	A	12.20	0.56	12.90	0.10	17.00	0.00	17.00	0.00	12.30	0.20
Day 26.5	B	20.40	0.30	20.83	0.32	22.73	0.15	23.77	0.15	16.87	0.15
	A	20.40	0.30	18.80	0.10	22.43	0.21	23.60	0.10	18.47	0.51
Day 27	B	19.17	0.23	10.17	0.15	17.57	2.89	20.40	0.30	19.43	0.15
	A	19.17	0.23	10.87	0.15	14.90	0.20	15.17	0.15	19.57	0.21
Day 27.5	B	19.20	0.30	20.30	0.10	23.53	0.45	24.43	0.21	19.23	0.21
	A	19.20	0.30	22.23	0.06	23.70	0.26	24.70	0.26	19.33	0.15
Day 28	B	14.33	0.06	14.50	0.10	19.20	1.15	21.13	0.47	14.17	0.25
	A	14.33	0.06	14.43	0.12	18.23	0.74	20.30	0.56	14.07	0.23

## 상대습도 (Relative Humidity)

- 습도는 성장단계, 사양방법에 따라 영향은 받으나 직접적으로 생산성에 영향을 미치지 않는다. 다만 고온 과습일 때 생산성이 급격히 떨어진다. 물론 습도가 높을 경우 병원성균의 증식이 우려된다.



[그림 2.63]: A형, B형 환기시스템에 대한 경시적 상대습도

- 두 유형의 환기시스템과 다섯 지점에 대한 습도변화는 [그림 2.63]에 주어져 있다. 온도는 4 지점이나 습도는 5 지점을 측정하였다. BF이후 가습되므로 대기습도와 같지 않을 수도 있다는 사실에 기인한다.
- A, B형의 대기습도는 물론 같으며 (청색 bar [그림 2.63]) 실험기간 중 습도는 31~64% ([표 2.10]) 범주에 있었다. 물론 향후 연구를 지속하게 되면 계절에 따라 습도는 크게 변한다. 특히 우리나라 동절 저온시 수분함유능(water holding capacity)이 낮아지므로 적정온도 유지하여 습도를 제어하는 것이 매우 중요하다.
- 실험기간 중 공조실의 습도의 변화는 52~97 % ([표 2.10])범주로 변화가 적지 않았다. ([그림 2.63]). 이는 외기온에 따라 사육실로 입기(入氣)되는 공기의 온도를 조절하기 위하여 살수(撒水)할 때 가습(加濕)효과 때문으로 여겨진다.
- A형 사육실의 상대습도는 65~97 % ([표 2.10]) 범주로서 B형의 56~98%보다 약간 높게 관찰되었다 (회색 bar [그림 2.63]). 이는 환기시스템의 회석과 비회석 기작(機作) 차이에 기인한 듯하다.
- A형 피트의 상대습도 74~97% 범주에 있으며 ([표 2.10]) B형의 64~97%보다 높게 관찰되었다 (노란색 bar [그림 2.63]). B형의 경우, 피트배기덕트가 있어 악취를 배기하면서 동시

에 수분도 배기하여 습도가 상대적으로 낮은 것으로 판단된다.

○ A형, B형 BF의 상대습도는 공히 34~97% 범주에 있으며([표 2.10]) 외기에 노출될 때 짧은 시간에 확산되어 배기공기의 특성을 측정하기 힘들었다.

[표 2.10] 경시별 상대습도 평균과 표준편차

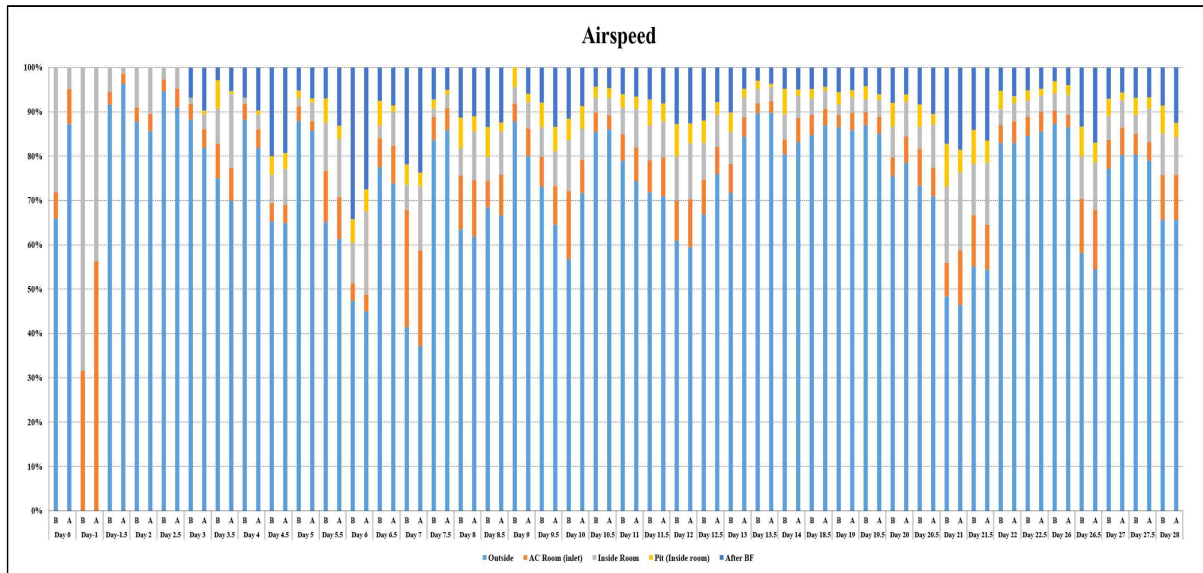
date	type	Outside		AC Room (inlet)		Inside (room)		Inside (pit)		After BF	
		Avee	STDEV	Ave	STDEV	Ave	STDEV	Ave	STDEV	Ave	STDEV
Day 0	B	69.1	1.3	72.8	1.0	78.3	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	69.1	1.3	79.3	0.8	90.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Day-1	B	0.0	0.0	68.1	0.2	98.1	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	0.0	0.0	74.0	0.5	89.8	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Day-1.5	B	31.2	0.1	62.2	3.1	55.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	31.2	0.1	68.8	0.4	65.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Day 2	B	60.9	3.8	68.3	0.4	85.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	60.9	3.8	84.2	0.4	95.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Day 2.5	B	69.9	3.2	72.9	0.6	91.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	69.9	3.2	76.1	1.3	92.1	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Day 3	B	76.2	0.9	93.6	1.2	97.0	0.0	96.2	1.4	78.8	4.8
	A	76.2	0.9	71.1	0.3	97.0	0.0	96.2	1.4	79.9	3.2
Day 3.5	B	97.0	0.0	60.8	0.7	66.2	1.7	63.9	0.3	97.0	0.0
	A	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0
Day 4	B	76.2	0.9	93.6	1.2	97.0	0.0	96.2	1.4	78.8	4.8
	A	76.2	0.9	71.1	0.3	97.0	0.0	96.2	1.4	79.9	3.2
Day 4.5	B	57.3	0.2	94.5	2.4	91.8	5.4	82.1	0.7	59.0	1.0
	A	97.0	0.0	94.5	2.4	96.2	1.4	87.1	2.2	77.5	7.0
Day 5	B	55.3	2.6	90.5	0.1	96.8	0.3	87.8	2.2	57.5	2.0
	A	55.3	2.6	96.1	1.0	96.1	1.6	87.0	3.3	76.9	12.0
Day 5.5	B	74.9	0.7	97.0	0.0	94.8	3.6	70.4	3.1	84.3	8.5
	A	74.9	0.7	97.0	0.0	93.7	3.7	81.9	1.5	87.6	9.0
Day 6	B	56.1	2.2	89.1	1.8	97.0	0.0	97.0	0.0	56.8	7.8
	A	56.1	2.2	97.0	0.0	77.3	1.7	74.3	0.8	54.5	3.6
Day 6.5	B	81.0	0.4	79.3	0.6	82.1	3.2	73.2	0.6	80.7	7.4
	A	81.0	0.4	83.0	0.6	97.0	0.0	90.2	5.3	80.7	7.4
Day 7	B	56.1	2.2	84.0	0.9	97.0	0.0	97.0	0.0	55.0	2.3
	A	56.1	2.2	97.0	0.0	97.0	0.0	96.9	0.1	57.6	5.3
Day 7.5	B	73.3	0.6	97.0	0.0	97.0	0.0	76.8	0.7	73.3	0.6
	A	73.3	0.6	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	75.8	1.9
Day 8	B	91.6	4.8	97.0	0.0	97.0	0.0	96.4	0.2	94.8	1.8
	A	91.6	4.8	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	93.1	3.5
Day 8.5	B	82.8	0.8	85.2	1.7	97.0	0.0	92.5	3.7	97.0	0.0
	A	82.8	0.8	87.4	1.4	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0



Day 9	B	97.0	0.0	91.0	0.5	95.7	1.6	95.4	1.7	90.7	2.7
	A	97.0	0.0	76.1	0.6	97.0	0.0	97.0	0.0	92.5	7.9
Day 9.5	B	74.4	1.3	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	95.6	0.7
	A	74.4	1.3	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	95.6	0.7
Day 10	B	61.3	6.2	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	77.4	0.4
	A	61.3	6.2	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	70.3	2.4
Day 10.5	B	82.6	1.1	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	92.5	0.5
	A	82.6	1.1	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	93.2	0.4
Day 11	B	92.8	3.7	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	96.0	1.0
	A	92.8	3.7	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	96.1	1.5
Day 11.5	B	68.3	2.3	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	77.7	1.5
	A	68.3	2.3	96.8	0.3	97.0	0.0	97.0	0.0	81.4	4.7
Day 12	B	66.8	5.4	95.4	0.7	97.0	0.0	97.0	0.0	96.5	0.9
	A	66.8	5.4	90.6	0.2	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0
Day 12.5	B	47.2	7.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	61.7	0.8
	A	47.2	7.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	63.9	1.5
Day 13	B	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0
	A	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0
Day 13.5	B	64.0	3.3	80.2	4.9	82.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	A	64.0	3.3	86.3	5.1	97.0	0.0	97.0	0.0	82.7	0.6
Day 14	B	72.6	2.3	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	85.1	0.2
	A	72.6	2.3	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	85.8	1.6
Day 18	B	61.7	1.2	97.0	0.0	97.0	0.0	88.6	1.7	97.0	0.0
	A	61.7	1.2	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	75.1	0.4
Day 18.5	B	65.4	4.0	93.7	1.5	97.0	0.0	97.0	0.0	76.8	1.8
	A	65.4	4.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	83.7	10.5
Day 19	B	72.1	4.0	93.7	1.5	97.0	0.0	97.0	0.0	76.8	1.8
	A	72.1	4.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	83.7	10.5
Day 19.5	B	58.2	0.2	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	82.3	2.5
	A	58.2	0.2	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	93.0	3.5
Day 20	B	73.6	3.7	74.2	1.2	97.0	0.0	97.0	0.0	61.7	0.5
	A	73.6	3.7	58.4	4.0	97.0	0.0	97.0	0.0	58.4	3.9
Day 20.5	B	66.5	0.9	70.8	0.4	97.0	0.0	97.0	0.0	83.2	1.9
	A	66.5	0.9	69.0	1.0	96.8	0.4	76.1	6.4	91.4	0.9
Day 21	B	57.5	1.0	83.0	3.9	97.0	0.0	97.0	0.0	56.6	3.0
	A	57.5	1.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	56.9	10.8
Day 21.5	B	38.7	1.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	40.1	0.3
	A	38.7	1.0	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	42.2	0.8
Day 22	B	53.0	1.5	61.6	1.0	97.0	0.0	97.0	0.0	54.9	8.6
	A	53.0	1.5	78.6	3.0	97.0	0.0	97.0	0.0	47.8	15.2
Day 22.5	B	49.8	1.4	52.8	0.9	97.0	0.0	97.0	0.0	51.6	2.2
	A	49.8	1.4	81.3	2.6	97.0	0.0	97.0	0.0	52.4	1.0
Day 26	B	19.2	0.5	79.3	0.2	91.9	5.1	80.4	3.6	79.3	0.3
	A	19.2	0.5	79.6	0.4	93.0	5.4	96.3	0.6	80.7	0.7

Day 26.5	B	60.7	1.4	91.3	0.7	97.0	0.0	97.0	0.0	83.2	0.6
	A	60.7	1.4	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	84.3	1.6
Day 27	B	23.5	3.0	52.8	1.9	97.0	0.0	97.0	0.0	34.5	1.8
	A	23.5	3.0	55.5	2.8	97.0	0.0	97.0	0.0	34.0	1.5
Day 27.5	B	60.7	1.4	91.3	0.7	97.0	0.0	97.0	0.0	83.2	0.6
	A	60.7	1.4	97.0	0.0	97.0	0.0	97.0	0.0	84.3	1.6
Day 28	B	31.4	0.7	95.8	1.7	97.0	0.0	97.0	0.0	50.8	1.7
	A	31.4	0.7	91.7	3.2	97.0	0.0	97.0	0.0	55.9	0.1

## 공기흐름(Airspeed)



[그림 2.64] A, B 형 실험돈사의 경시적 유속변화

- 외기의 공기유속은 0.1~1.1 m/s 범주로서 ([표 2.11]), 기상에 따라 크게 변한다. (청색 bar, [그림 2.64]), 실험을 지속하면 풍속은 계절적 요인도 클 것으로 기대된다.
- 공조실의 공기유속은 0.01~0.06 m/s 범주로서 ([표 2.11]), 거의 유속을 감지하지 못할 정도의 정체공간(dead zone)으로 인식된다. 물론 공조실에서 사육실로 유입되는 덕트 입기구에 서는 음압환기시스템에 의해 상대적으로 높은 기류를 관찰할 수 있었다.

[표 2.11] A, B 형 돈사 네 개 지점의 유속 및 편차

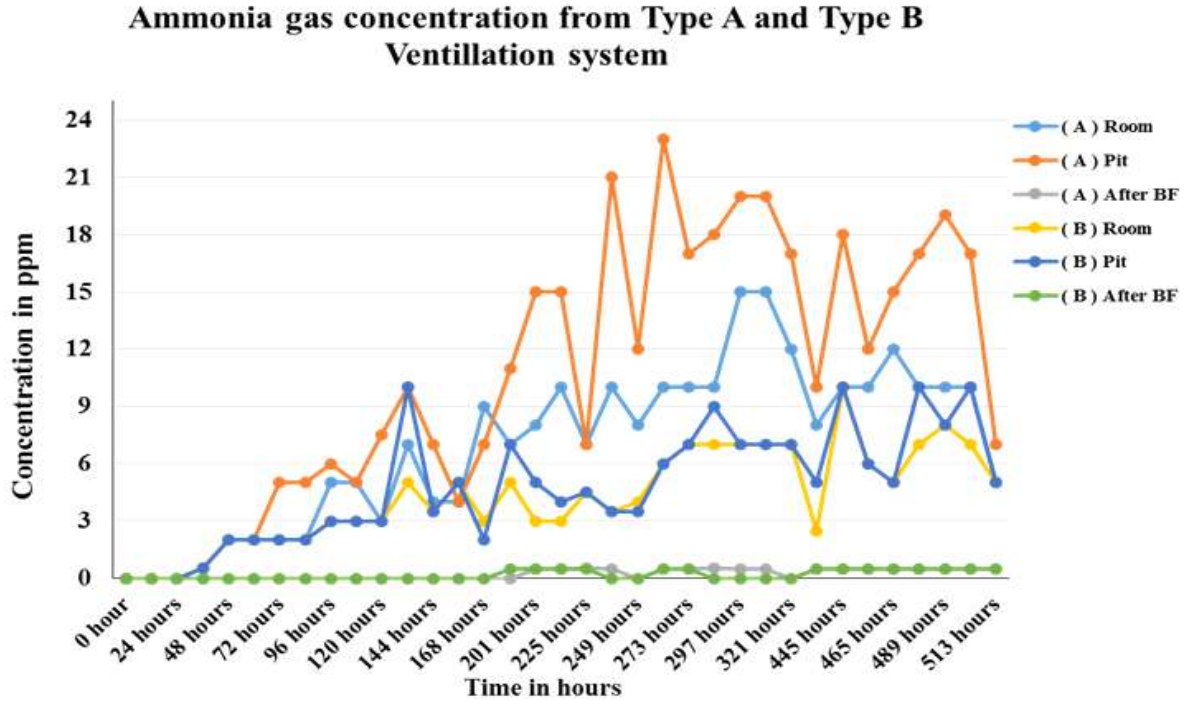
		Outside		AC Room (inlet)		Inside (room)		Inside (pit)		After BF	
		Average	STDEV	Average	STDEV	Average	STDEV	Average	STDEV	Average	STDEV
Day 0	B	0.3	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0	0
	A	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
Day-1	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day-1.5	B	0.9	0.7	0	0	0.1	0	0	0	0	0
	A	1.1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 2	B	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 2.5	B	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.7	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 3	B	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 3.5	B	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.4	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
Day 4	B	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 4.5	B	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 5	B	0.9	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.9	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 5.5	B	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.3	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0
Day 6	B	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0
Day 6.5	B	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.5	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0
Day 7	B	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 7.5	B	0.9	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.9	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 8	B	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 8.5	B	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.3	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0
Day 9	B	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.7	0.2	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0
Day 9.5	B	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 10	B	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 10.5	B	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 11	B	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.5	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
Day 11.5	B	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 12	B	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 12.5	B	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 13	B	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 13.5	B	1.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	1.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 14	B	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 18	B	0.9	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 18.5	B	0.9	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 19	B	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 19.5	B	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 20	B	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 20.5	B	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	A	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 21	B	0.2	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0
	A	0.2	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0
Day 21.5	B	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 22	B	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 22.5	B	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.7	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 26	B	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.9	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0
Day 26.5	B	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0
Day 27	B	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Day 27.5	B	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0
	A	0.6	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0
Day 28	B	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0

- A형 돈사 사육실의 유속은 0.02~0.06 m/s 범주에 있으며 ([표 2.11]). B형보다 높게 나타났다. (회색 bar, [그림 2.64]). 이는 기본적으로 B형 공기배관덕트는 미세천공으로 되어 있어 거의 기류를 느끼지 못하도록 설계하였기 때문으로 이해된다. 문제는 높은 환기율이 요구되는 여름인데, 이때 공조실에서 사육실에 적정한 공기를 조화(調和: conditioning)함으로써 문제를 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 3차년 하절(夏節) 연구를 통해서 유의성을 검증하고자 한다.
- A형, B형 공히 피트의 유속은 감지되지 않았다. ([표 2.11]) B형의 경우 악취배기를 위하여 음압 피트환기덕트를 설치하였음에도 유속이 감지되지 않음은 설사 유속이 있다하더라도 음압으로 감지가 어렵거나, 어떠한 이유에서든지 덕트자체가 작동하지 않을 경우를 생각할 수 있다. 이를 검증하기 위하여 차주(次週) 실험에서는 지점별 음압의 분포를 측정할 필요가 있다.
- BF외부의 유속은 0.01~0.11 m/s 범주로서([표 2.11] & 청색 bar [그림 2.64]). 거의 기류를 인지하지 못할 정도로 유속이 낮다. 이는 fiber pad를 지나면서 유속이 급격히 저하되었기 때문으로 예측 된다.

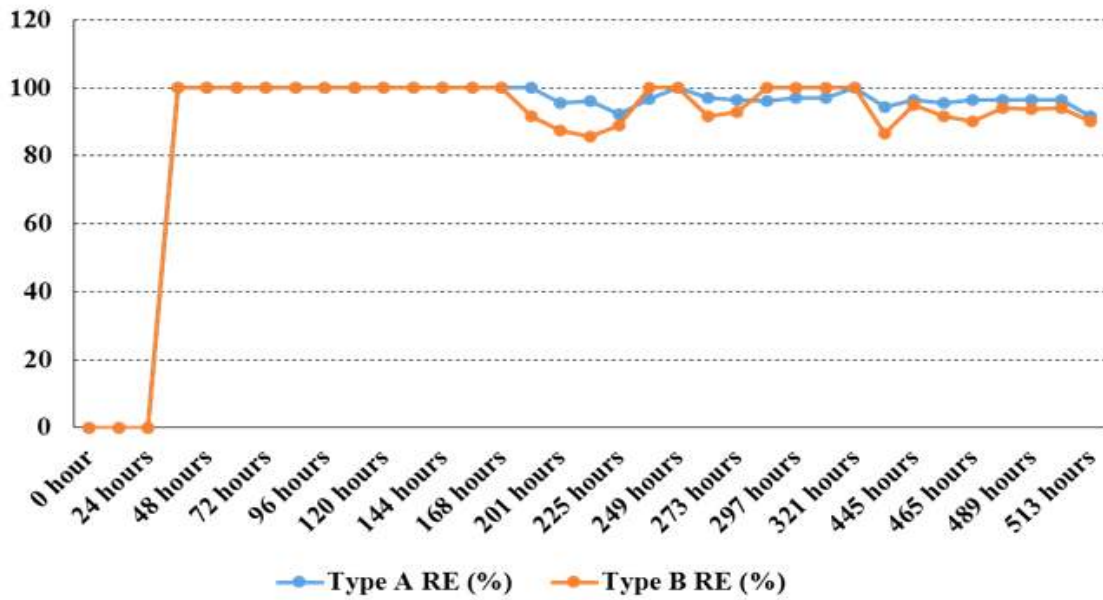
ii. 두 가지 유형의 환기 시스템에서 암모니아 가스 농도



[그림 2.65] 두 가지 유형의 환기 시스템에서 암모니아 변화

- [그림 2.65]은 두 유형의 환기 시스템 (벽체 환기 및 피트 환기)의 암모니아 농도 변화를 나타낸다. A형 돈사의 암모니아 배기농도는 B형 돈사보다 약 3ppm 정도 높았다. 이는 B형의 비회석식 환기와 피트 배기덕트로 인한 중첩효과로 암모니아 농도가 저감된 것으로 사료된다.
- B형 돈사피트 내 암모니아 농도는 A형보다 약 8~10 ppm 정도 크게 낮았다. 이는 전술(前述)한 바와 같이 중첩효과가 피트에서 두드러진 까닭으로 보인다.
- A형 BF 출구에서의 암모니아 농도는 A, B형 공히 비슷하였다, 이는 특히 A형 돈사에서 BF 효과가 두드러진 것으로 예측 된다. B형 돈사에서 배기공기는 바이오필터 출구의 바닥에서부터 위를 통과하며 크게 확산되어 정압이 더 저하된 것으로 판단된다. 그러나 바이오필터를 접촉시간은 늘어나, 악취 저감효과가 큰 것으로 여겨진다.

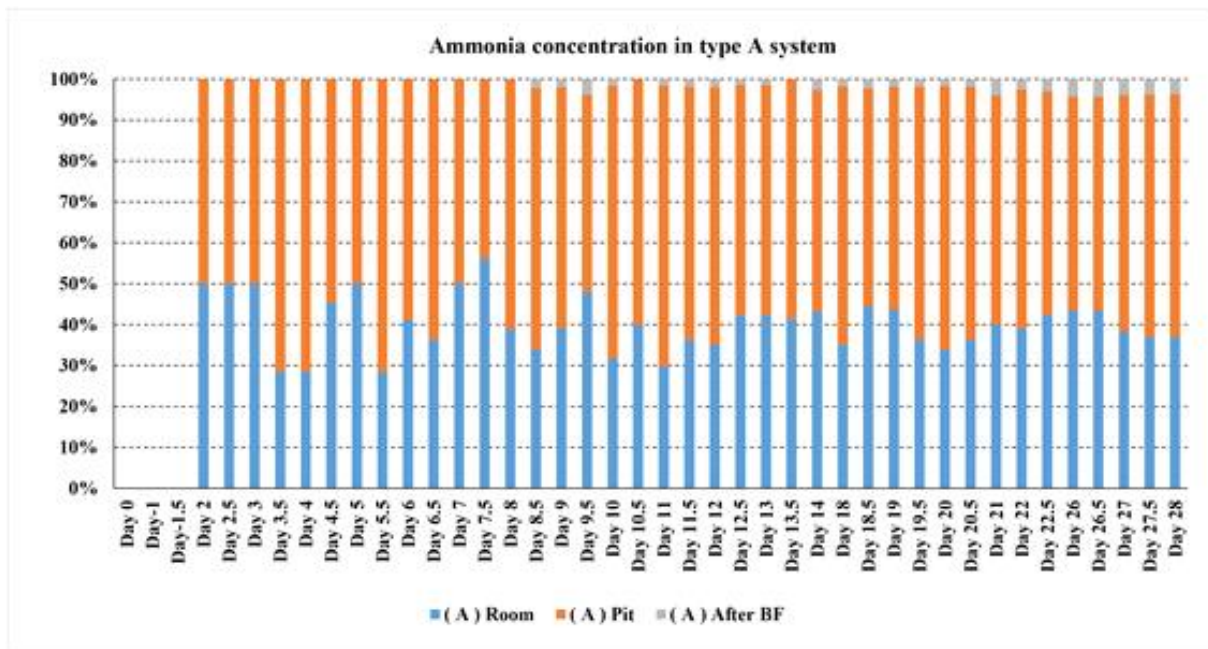
Ammonia Gas Reduction Efficiency (RE%)



[그림 2.66] 두 가지 유형의 환기 시스템에서 암모니아 감소 효율

○ 두 가지 다른 유형의 바이오필터의 암모니아 감소 효율이 [그림 2.66]에 나타나 있으며, 실험 결과 A형 바이오필터 시스템은 B형보다 다소 높은 감소 효율을 보였다.

○ A형돈사의 세 지점 경시적 암모니아 농도 변화



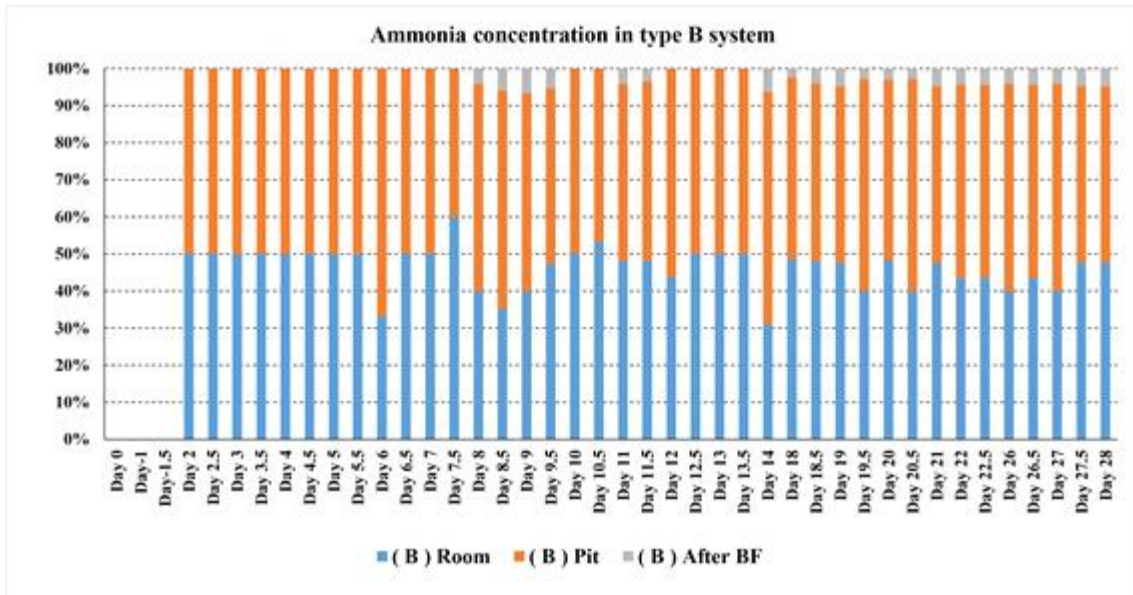
[그림 2.67] A형 돈사의 경시적 암모니아 농도변화

[표 2.12] A형 돈사의 세 지점 경시적 암모니아 변화

	사육실	피트	BF 후
Day 0.0	0	0	0
Day-1.0	0	0	0
Day-1.5	0	0	0
Day 2.0	0.55	0.55	0
Day 2.5	2	2	0
Day 3.0	2	2	0
Day 3.5	2	5	0
Day 4.0	2	5	0
Day 4.5	5	6	0
Day 5.0	5	5	0
Day 5.5	3	7.5	0
Day 6.0	7	10	0
Day 6.5	4	7	0
Day 7.0	4	4	0
Day 7.5	9	7	0
Day 8.0	7	11	0
Day 8.5	8	15	0.5
Day 9.0	10	15	0.5
Day 9.5	7	7	0.55
Day 10.0	10	21	0.5
Day 10.5	8	12	0
Day 11.0	10	23	0.5
Day 11.5	10	17	0.5
Day 12.0	10	18	0.55
Day 12.5	15	20	0.5
Day 13.0	15	20	0.5
Day 13.5	12	17	0
Day 14.0	8	10	0.5
Day 18.0	10	18	0.5
Day 18.5	10	12	0.5
Day 19.0	12	15	0.5
Day 19.5	10	17	0.5
Day 20.0	10	19	0.5
Day 20.5	10	17	0.5
Day 21.0	5	7	0.5
Day 22.0	8	12	0.5
Day 22.5	7	9	0.5
Day 26.0	5	6	0.5
Day 26.5	5	6	0.5
Day 27.0	5	7.5	0.5
Day 27.5	5	8	0.5
Day 28.0	5	8	0.5
<b>평균</b>	<b>6.73</b>	<b>10.20</b>	<b>0.29</b>

○ [그림 2.67] 는 A 형의 세 지점의 경시적 암모니아 농도를 나타낸 것이다. 피트 암모니아 농도(황색 bar)가 사육실 (청색 bar)보다 높게 관찰되었다. 실험 일주일 후 BF후 에도 암모니아가 농도가 감지되기 시작하였다([표 2.12] 회색bar). 그러나 BF후 농도는 0.5ppm 이하로서 환기시스템이 악취희석에 효율적으로 작동함을 의미한다.

○ B형 돈사의 세 지점 암모니아 농도 변화



[그림 2.68] B형 돈사의 세 지점 경시적 암모니아 농도변화

○ [그림 2.68]은 B 형 돈사의 세 지점 암모니아 농도를 나타낸 것이다. 사육실의 암모니아 농도가 (감색 bar)가 10ppm이하이며, BF후는 0.5ppm을 넘지 않을 정도로 상대적으로 암모니아 농도가 A형보다 낮았다. 일주일 후부터 BF후 암모니아 농도가 감지되었다. ([표 2.13]), 이는 B형 환기시스템이 적정하게 작동되고 있음을 의미한다.

○ 실험기간 중 B형 돈사 피트의 평균 암모니아 농도는 5.0 ppm으로 A형의 암모니아 농도 10ppm 보다 훨씬 낮았다. 이는 비희석과 피트배기의 중첩효과로 이해된다.

○ BF의 경우, A형 돈사의 경우 0.29ppm, B형 돈사의 경우, 0.25ppm으로 A형이 높긴 하지만 거의 차이가 없었다 이는 사육실이나 피트에서 배기되는 상대적으로 높은 암모니아 농도가 거의 100% 제거되어 BF 효과가 매우 좋을 것으로 추정된다. 그러나 장기간 사용으로 유발되는 미생물 집적으로 fiber pad 공극이 막혀 공기유동이 방해 받을 수 있다. 그러므로 장기간 실증실험으로 충분한 실험자료를 근거로 분석하여 결론을 도출해야 할 것으로 예측된다.

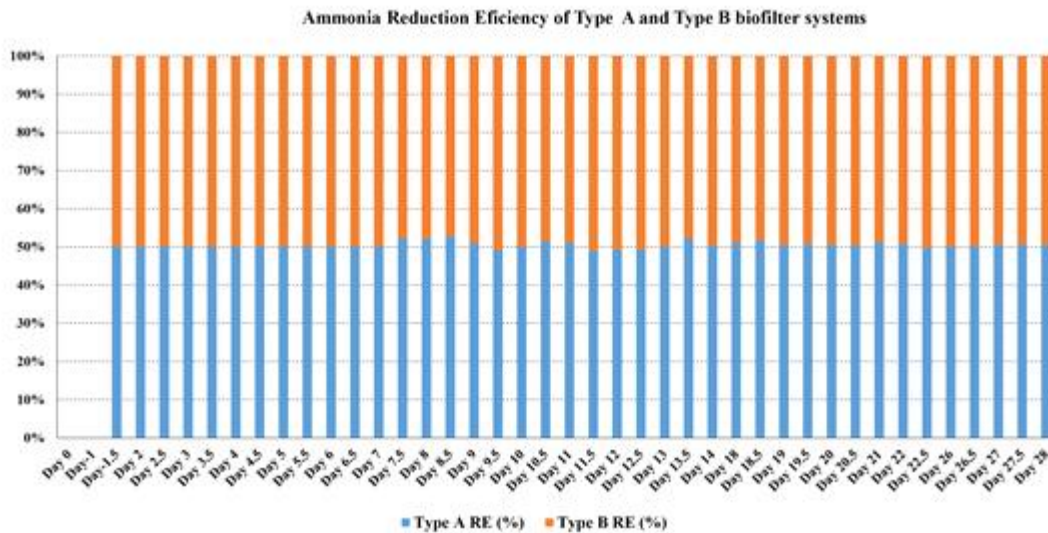


[표 2.13] B형 돈사의 세지점의 경시적 암모니아 농도 변화

	사육실	피트	BF후
Day 0.0	0	0	0
Day-1.0	0	0	0
Day-1.5	0	0	0
Day 2.0	0.54	0.54	0
Day 2.5	2	2	0
Day 3.0	2	2	0
Day 3.5	2	2	0
Day 4.0	2	2	0
Day 4.5	3	3	0
Day 5.0	3	3	0
Day 5.5	3	3	0
Day 6.0	5	10	0
Day 6.5	3.5	3.5	0
Day 7.0	5	5	0
Day 7.5	3	2	0
Day 8.0	5	7	0.5
Day 8.5	3	5	0.5
Day 9.0	3	4	0.5
Day 9.5	4.5	4.5	0.5
Day 10.0	3.5	3.5	0
Day 10.5	4	3.5	0
Day 11.0	6	6	0.5
Day 11.5	7	7	0.5
Day 12.0	7	9	0
Day 12.5	7	7	0
Day 13.0	7	7	0
Day 13.5	7	7	0
Day 14.0	2.5	5	0.5
Day 18.0	10	10	0.5
Day 18.5	6	6	0.5
Day 19.0	5	5	0.5
Day 19.5	7	10	0.5
Day 20.0	8	8	0.5
Day 20.5	7	10	0.5
Day 21.0	5	5	0.5
Day 22.0	5	6	0.5
Day 22.5	5	6	0.5
Day 26.0	5	7	0.5
Day 26.5	5	6	0.5
Day 27.0	5	7	0.5
Day 27.5	5	5	0.5
Day 28.0	5	5	0.5
평균	4.37	5.0	0.25

## 2가지 유형의 BF 암모니아 제거능 (A형, B형)

○ BF는 경제성이 있고, 다양한 악취물질의 제거효율이 높은 기법 중에 하나로 보고되어 있다. (O'Neil et al., 1992; Devinny et al., 1999; Janni et al., 2001). 기본 제거기작은 pad표면에 서식하는 미생물이 용해 암모니아를 먹이로 취함으로써 악취농도를 저감할 수 있다. (Naylor et al., 1988).



[그림 2.69] A형, B형 돈사의 경시적 암모니아 농도변화

○ [표 2.14]는 A형, B형 돈사의 BF의 경시적 암모니아 제거효율을 나타낸 것이다. A형 BF의 제거효율 96.6%, B형 제거효율 95.0%로서 약간 A형이 높으나 그 차는 1.6%dp 지나지 않는다. A형 BF configuration 이 B형 보다 우수한 지는 장기간의 실증실험을 통해서 결론에 이를 듯하다. 제거 기본기작은 pad표면에 서식하는 미생물이 활성화되어 용해 암모니아를 먹이로 취함으로써 악취농도를 저감할 수 있다. (Naylor et al., 1988)

[표 2.14] A형, B형 돈사의 경시적 암모니아 농도변화

	Type A	Type B
	RE (%)	RE (%)
Day 0.0	0.0	0.0
Day-1.0	0.0	0.0
Day-1.5	100	100.0
Day 2.0	100	100.0
Day 2.5	100	100.0
Day 3.0	100	100.0
Day 3.5	100	100.0
Day 4.0	100	100.0
Day 4.5	100	100.0
Day 5.0	100	100.0
Day 5.5	100	100.0
Day 6.0	100	100.0
Day 6.5	100	100.0
Day 7.0	100	100.0
Day 7.5	100	91.7
Day 8.0	96	87.5
Day 8.5	96	85.7
Day 9.0	92	88.9
Day 9.5	97	100.0
Day 10.0	100	100.0
Day 10.5	97	91.7
Day 11.0	96	92.9
Day 11.5	96	100.0
Day 12.0	97	100.0
Day 12.5	97	100.0
Day 13.0	100	100.0
Day 13.5	94	86.7
Day 14.0	96	95.0
Day 18.0	95	91.7
Day 18.5	96	90.0
Day 19.0	96	94.1
Day 19.5	97	93.8
Day 20.0	96	94.1
Day 20.5	92	90.0
Day 21.0	95	90.9
Day 22.0	94	90.9
Day 22.5	91	91.7
Day 26.0	91	90.9
Day 26.5	92	91.7
Day 27.0	92	90.0
Day 27.5	92	90.0
Day 28.0	92	90.0
평균	96.63	95.00

### iii. 생물학적 폐수 분석 결과

#### 돼지 분뇨 처리를 위한 생물학적 폐수 정화 시스템

- 생물학적 질소 제거는 혐기성 처리 및 호기성 처리의 결합을 통해서만 이루어질 수 있다. 두 가지 대사 과정을 함께 수행하기 위해서는 전자 도우너(electron donor)의 사용을 고려해야 한다. 따라서 통합적 혐기성/호기성 처리를 효과적으로 실행하기 위해서는 전자 흐름(electron flux)을 관리해야 한다. 혐기성/호기성 공정 결합 구성을 실험적 규모 혹은 대규모로 적용한 연구들이 있다(Tilche et al., 1994; Bernet et al., 2000; Choi et al., 2005; Choi, 2007).
- [그림 2.70]은 분뇨 수집 및 처리를 위해 A형 및 B형 환기 시스템 근처에 설치된 처리장을 보여준다.



[그림 2.70] 현장에 설치된 돼지 분뇨 처리 탱크

- 본 연구에서는 돼지 분뇨 처리 후 산출된 최종 산물(MBR water)을 청소 및 바이오필터 패드 수분 유지를 위해 돼지 피트에서 재활용하였다.

○ 첫주 분석자료는 처리반응조의 미생물의 안정화 측면에서 분석하지 않았다. <표 19>과 돈슬러리의 수처리의 네 단계(호기(OX), 무산소(An), 침전(sed) 및 상등액(supernatant, sup)) 구성공정을 나타낸다. 무산소 공정에서의 돈슬러리의 평균 용존 산소량은 호기공정보다 낮았으나, 1주차와 비하여 높게 나타났다.

[표 2.15] 처리 과정 동안 돼지 분뇨의 평균 특성(2-1주차)

	PH			DO (Mg/L)			온도 (°C)		
		평균	Stdev		평균	Stdev		평균	Stdev
An	6.60	6.65	0.07	3.25	3.26	0.01	31.00	31.50	0.71
	6.70			3.26			32.00		
Ox	6.90	6.95	0.07	15.10	15.09	0.02	26.00	25.50	0.71
	7.00			15.07			25.00		
Sed	7.00	7.05	0.07	12.47	12.49	0.03	20.00	20.00	0.00
	7.10			12.51			20.00		
Sup	6.30	6.35	0.07	6.49	6.54	0.06	20.00	19.50	0.71
	6.40			6.58			19.00		

○ 무산소 반응조의 수온은 다른 반응조에 비하여 높게 나타났다. 이러한 결과는 생물학적 시스템이 2주차에 정상 작동하고 있음을 보여준다.

[표 2.16] 처리 과정 동안 돼지 분뇨의 평균 특성(2-2주차)

	pH			DO (Mg/L)			온도 (°C)		
		평균	Stdev		평균	Stdev		평균	Stdev
An	6.60	6.55	0.07	2.64	2.56	0.12	27.50	27.75	0.35
	6.50			2.47			28.00		
Ox	6.60	6.65	0.07	15.02	15.26	0.34	26.50	26.25	0.35
	6.70			15.50			26.00		
Sed	7.00	7.05	0.07	14.25	13.80	0.64	20.00	20.00	0.00
	7.10			13.34			20.00		
Sup	6.30	6.35	0.07	6.87	6.92	0.07	17.00	17.50	0.71
	6.40			6.97			18.00		

○ 무산소 공정에서의 돼지 분뇨의 평균 용존 산소량은 호기 공정보다 낮았으나, 1주차와 비교하여 높게 나타났다. 무산소조 및 다른 변수도 경시적 일시의 변동에 관계없이 일정하였다. 또한 호기조에서 용존산소율(DO)도 다른 반응조보다 높게 나타났다. 이는 돈슬러리의 처리가 매우 안정적으로 일어나고 있음을 말한다.

[표 2.17] 처리 과정 동안 돼지 분뇨의 평균 특성(3-1주차)

	pH			DO (Mg/L)			온도 (°C)		
		평균	Stdev		평균	Stdev		평균	Stdev
An	6.80	6.80	0.00	2.90	2.88	0.04	32.00	32.50	0.71
	6.80			2.85			33.00		
Ox	6.90	6.95	0.07	13.67	13.63	0.06	27.00	27.50	0.71
	7.00			13.58			28.00		
Sed	7.20	7.30	0.14	6.42	6.44	0.02	21.00	21.00	0.00
	7.40			6.45			21.00		
Sup	7.00	7.10	0.14	4.22	4.24	0.03	20.00	20.50	0.71
	7.20			4.26			21.00		

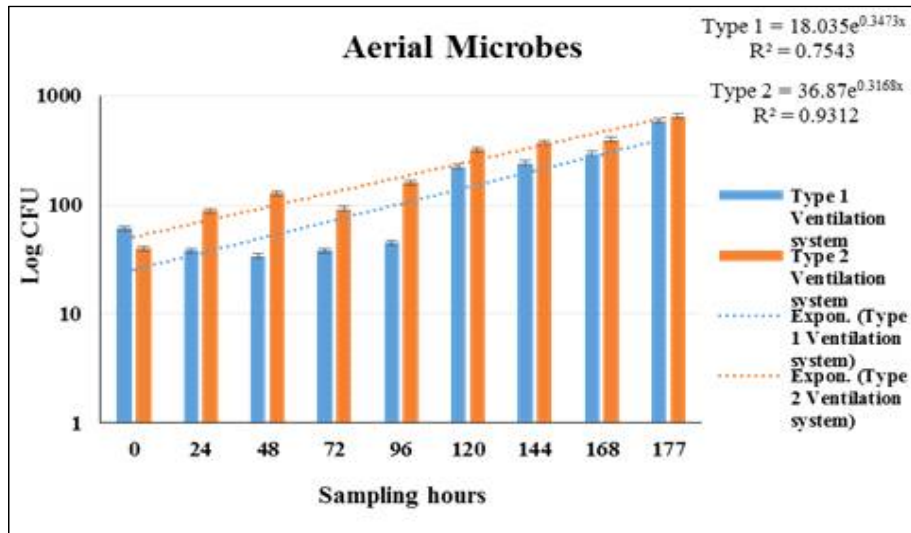
[표 2.18] 처리 과정 동안 돼지 분뇨의 평균 특성(3-2주차)

	pH			DO (Mg/L)			온도 (°C)		
		평균	Stdev		평균	Stdev		평균	Stdev
An	6.70	6.75	0.07	2.90	2.88	0.04	34.00	34.50	0.71
	6.80			2.85			35.00		
Ox	7.10	7.15	0.07	13.67	13.63	0.06	26.50	26.25	0.35
	7.20			13.58			26.00		
Sed	6.90	6.95	0.07	6.42	6.44	0.02	15.00	14.75	0.35
	7.00			6.45			14.50		
Sup	7.10	7.15	0.07	4.22	4.24	0.03	21.00	20.50	0.71
	7.20			4.26			20.00		

[표 2.19] 처리 과정 동안 돼지 분뇨의 평균 특성(3주차)

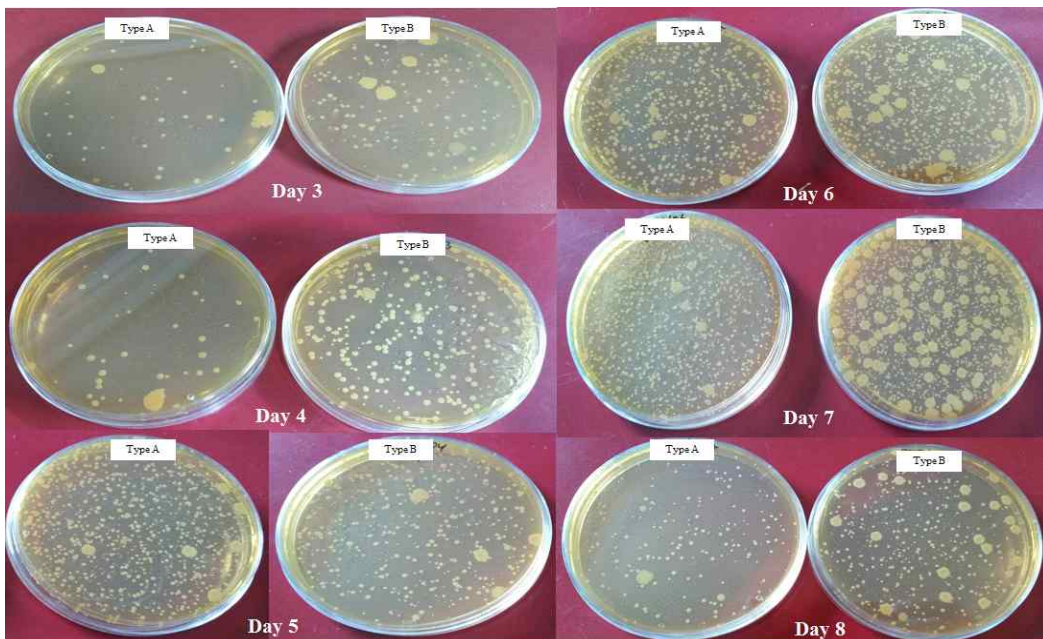
	pH			DO (Mg/L)			온도 (°C)		
		평균	Stdev		평균	Stdev		평균	Stdev
An	7.20	7.30	0.14	0.11	0.10	0.02	32.00	32.00	0.00
	7.40			0.08			32.00		
Ox	7.00	7.10	0.14	0.11	0.11	0.01	30.00	30.00	0.00
	7.20			0.10			30.00		
Sed	7.30	7.35	0.07	1.53	1.51	0.03	19.00	19.00	0.00
	7.40			1.49			19.00		
Sup	6.40	6.45	0.07	5.42	5.43	0.01	20.00	20.00	0.00
	6.50			5.43			20.00		

iv. 공기 중 미생물(Aerial Microbes)



[그림 2.71] 두 가지 유형의 환기 시스템의 공기 중 미생물 변화

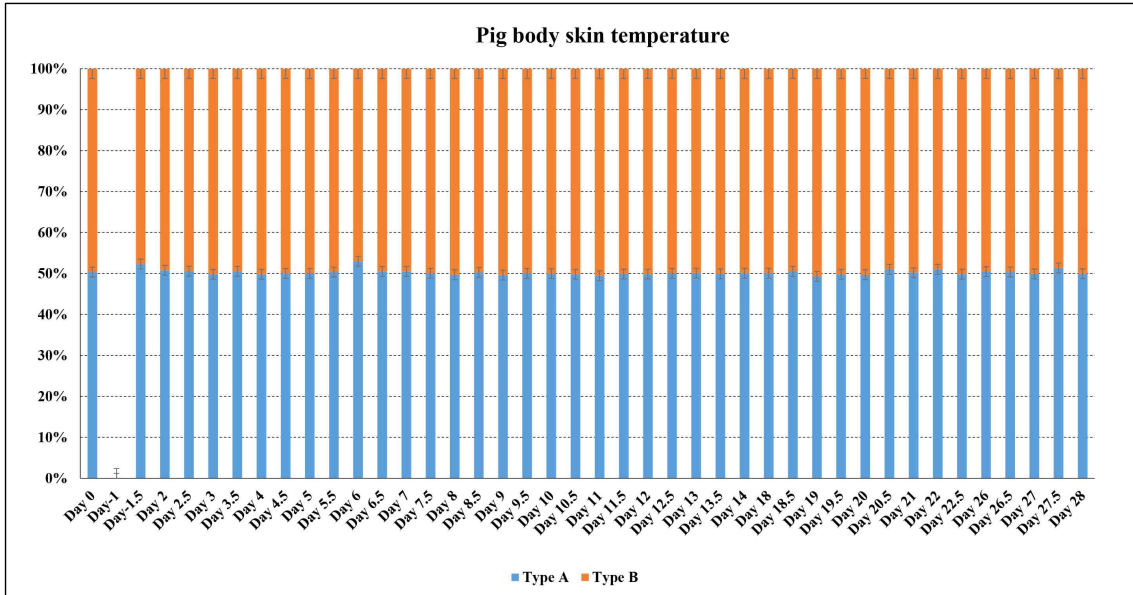
○ [그림 2.71]는 두 유형의 환기시스템 (회석식 및 비회석식)의 공기 중 부유미생물 농도를 나타낸다. A형 시스템의 공기 중 미생물 농도는 0일째에 B형 시스템보다 높았지만 24시간 후 B형 시스템의 농도가 더 높게 관찰되었다 ([그림 2.72]). 본 실험에서 박테리아 농도 계산에 사용된 방법은 중력법칙에 기반(plate settling method)한다. 향후 보다 장기적이며 깊이 있는 실험으로 부유미생물과 먼지농도 간의 상관성도 규명하고자 한다.



[그림 72] 바이오필터(내부) 실험을 위한 A형 및 B형 환기 시스템의 미생물 농도

v. 돼지 건강

Pig health (pig body temperature)



[그림 2.73]: A형, B형 돈사에서 사육되는 돼지의 체표면온도.

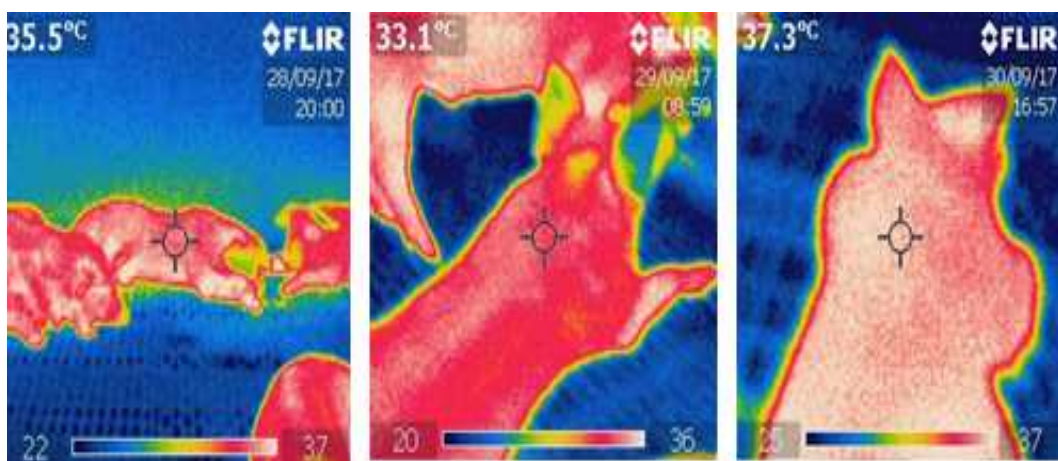
○ 돼지 체표면 상 온도 이미지 평균 및 편차는 [표 2.20]과 같다. A형 체표면 온도는 36.6℃, B형의 평균체표면 온도는 36.3℃으로 A형이 약간 높지만 거의 차이가 없었다. 체표면 온도 상 두 형의 돈사에서 사육되는 돼지는 건강하다할 수 있다.

[표 2.20] 두 유형 돈사에서 사육되는 돼지의 체표면 온도 분포

	Ventilation type B	Average	STDEV	Ventilation type A	Average	STDEV
Day 0.0	B	34.5	1.6	A	34.0	0.6
Day-1.0	B	34.4	0.0	A	34.0	0.0
Day-1.5	B	35.5	0.4	A	32.4	0.4
Day 2.0	B	32.5	0.3	A	31.5	0.3
Day 2.5	B	37.6	0.7	A	36.7	0.3
Day 3.0	B	34.6	1.3	A	34.9	0.6
Day 3.5	B	36.4	0.8	A	35.6	0.4
Day 4.0	B	34.6	1.3	A	34.9	0.6
Day 4.5	B	38.7	0.0	A	38.7	0.4
Day 5.0	B	36.3	0.0	A	36.3	0.2
Day 5.5	B	38.0	0.5	A	37.5	0.5
Day 6.0	B	36.1	0.4	A	32.1	2.3
Day 6.5	B	37.6	0.2	A	36.8	0.3
Day 7.0	B	35.9	0.1	A	35.2	0.7
Day 7.5	B	37.5	0.6	A	37.4	0.8
Day 8.0	B	35.7	0.3	A	36.2	0.4
Day 8.5	B	36.6	0.2	A	36.2	0.3

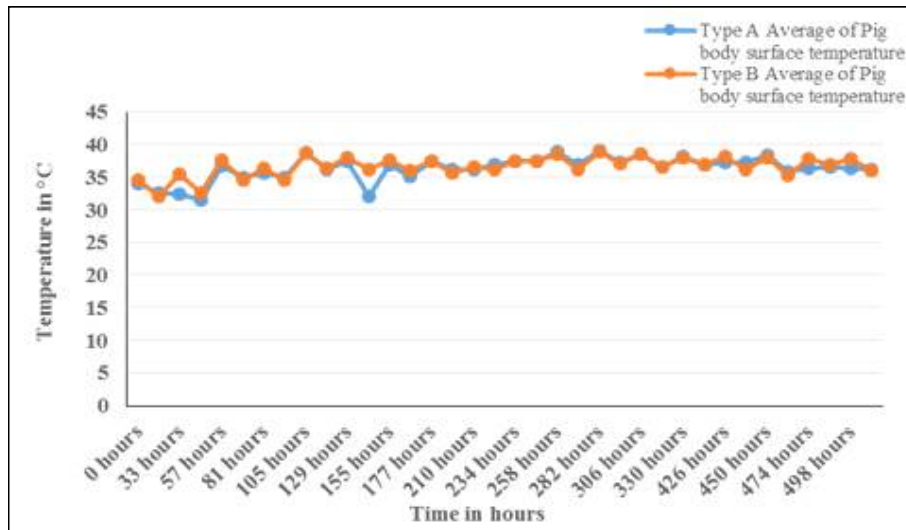


Day 9.0	B	36.3	0.3	A	36.8	0.3
Day 9.5	B	37.5	0.3	A	37.5	0.5
Day 10.0	B	37.4	0.1	A	37.5	0.3
Day 10.5	B	38.6	0.1	A	38.9	0.2
Day 11.0	B	36.1	1.4	A	37.0	0.2
Day 11.5	B	38.9	0.2	A	39.1	0.4
Day 12.0	B	37.1	0.2	A	37.3	0.1
Day 12.5	B	38.6	0.2	A	38.6	0.3
Day 13.0	B	36.6	0.3	A	36.5	0.3
Day 13.5	B	38.0	0.3	A	38.1	0.1
Day 14.0	B	36.9	1.1	A	36.8	0.2
Day 18.0	B	36.9	1.1	A	36.8	0.2
Day 18.5	B	38.1	0.6	A	37.3	0.5
Day 19.0	B	36.2	0.8	A	37.2	0.3
Day 19.5	B	38.0	0.6	A	38.3	0.3
Day 20.0	B	35.3	0.9	A	35.8	0.2
Day 20.5	B	37.8	0.4	A	36.3	0.3
Day 21.0	B	36.9	0.3	A	36.6	0.8
Day 22.0	B	37.8	0.3	A	36.3	0.3
Day 22.5	B	36.0	0.7	A	36.3	0.7
Day 26.0	B	36.8	0.3	A	36.1	0.3
Day 26.5	B	36.7	0.3	A	36.2	0.5
Day 27.0	B	36.9	0.4	A	37.1	0.3
Day 27.5	B	35.7	0.8	A	33.9	0.4
Day 28.0	B	37.0	0.6	A	37.1	0.7



[그림 2.74] 측정 지점이 위치를 보여주는 돼지 몸과 머리의 열화상 이미지

○ [그림 2.74]은 두 유형의 환기시스템 (벽체 환기 및 피트 환기)에서 돼지의 몸과 머리의 열화상 이미지를 나타낸다.



[그림 2.75] 두 가지 유형의 환기 시스템에서 돼지의 평균 체온 변화

- [그림 2.75]은 두 가지 다른 유형의 환기 시스템 (벽체 환기 및 피트 환기)에서 돼지의 체온의 변화를 보여준다. 두 시스템에서 돼지 체온은 큰 차이를 보이지 않았음을 확인하였다.
- 이러한 결과는 APP와 같은 질병을 탐지하기 위한 경제적인 시스템을 개발하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 체온을 알면 사육자는 특정 우리를 분리하여 치료할 수 있으며 이를 통해 비용을 절감하고 무항생제 양돈과 같은 친환경 축산시장을 개발할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 열 감지 카메라는 적절히 관리될 경우 디지털 카메라에 비해 조작성이 간편하며 사료 공급과 같은 일상 작업 수행에 도움이 될 수도 있다.

### 요약

- 본 과제(ICT기반 우리나라형 바이오필터 시스템 개발)는 돈사의 돼지와 작업자, 돈사 주변에 정주민(定住民)에게 청정환경을 제공하고, 우리나라형 BF를 개발하여 산업화함이 본 연구의 목적이다. 과제 수행 동안 바이오 필터 시스템을 갖추고 ICT가 통합된 두 유형의 환기 시스템을 기반으로 한 container 돈사신축하고 pilot 실험돈사를 개보수 하였다.

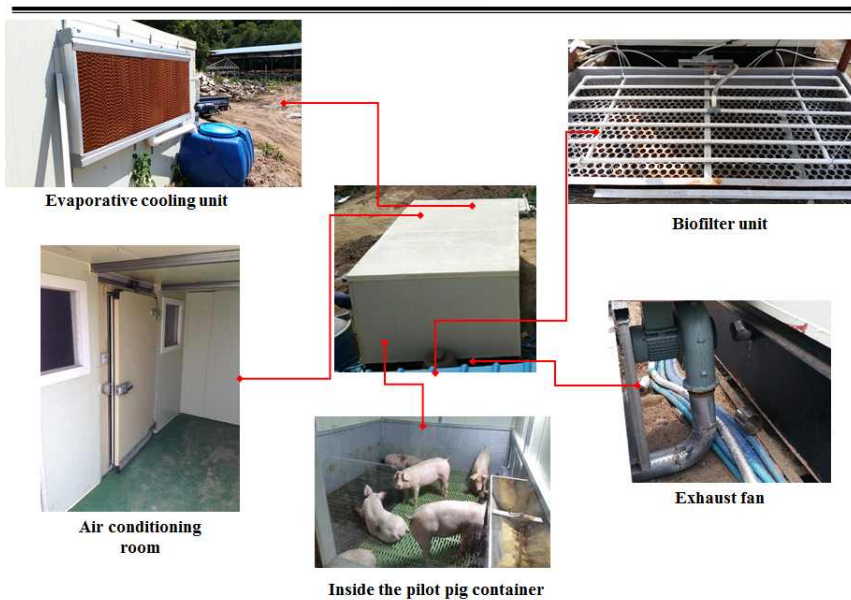
Type A



[그림 2.76] A형 환기 시스템의 상세 사진

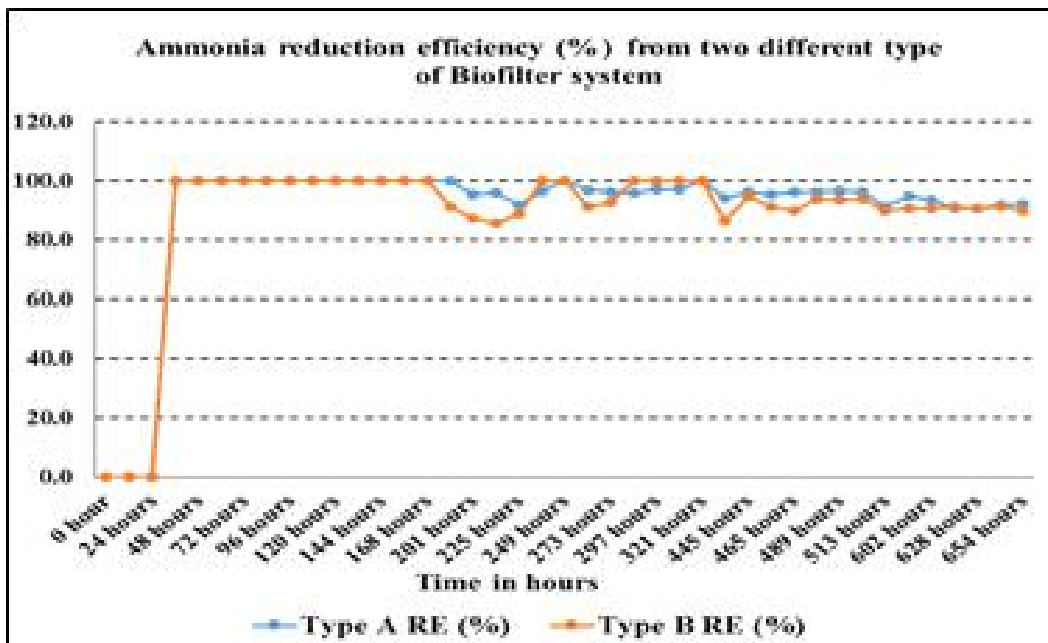
○ 두 유형의 환기 시스템 실증실험 결과, 물리적 환경변수는 두 유형의 환기 시스템(A형: 희석식, B형: 비희석식)에서 거의 동일한 것으로 나타났으며, 보다 중장기적인 실험을 수행하여 big data를 만들면 보다 정밀한 분석을 도출할 수 있을 것으로 예상된다. B형 환기 시스템에서 악취 농도가 더 낮은 것으로 나타났으며, 생물학적 환경변수 및 공기 중 부유미생물의 농도 또한 B형이 A형보다 높은 것으로 나타났다.

Type B



[그림 2.77] B형 환기 시스템의 상세 사진

- 이는 B형의 경우, 입기공기가 음압시스템에 의해 하향(下向)하면서 모든 미립자가 피트를 통과하며 공기 중 미생물 농도는 중력법칙(gravity method)에 의해 측정되었기 때문인 것으로 판단된다. B형의 경우 악취는 획기적으로 개선되나 먼지나 부유세균은 오히려 높아지는 경향을 보여 중장기적 실험을 통해 이의 해결책을 찾아야 한다.
- 바이오필터 시스템에 대한 분석결과에 따르면 암모니아 가스 제거에 대한 환원 효율은 지속적으로 일관되게 A형, B형 환기 시스템에서 거의 유사한 것으로 나타났다([그림 2.78]). 그러나 중장기적 현장실증실험을 통해 big data를 만들어 분석할 필요가 있다(실험이 계속 진행 중이며 최종 결과는 3차년도에 보고할 예정).



[그림 2.78] 두 가지 유형의 환기 시스템에서의 암모니아 감소효율

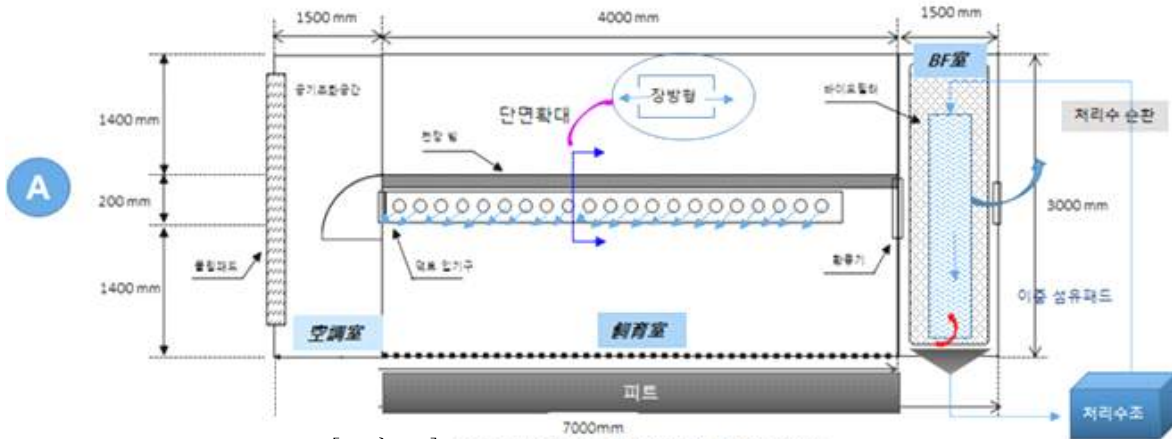
- 암모니아 외 황화수소의 발산농도는 0.1ppm 미만이었다, 연구 수행 중 생물학적 폐수 시스템을 설치 및 점검하여 시스템이 정상 작동하고 있음을 확인하였으며, 돼지 건강과 관련하여, 두 유형의 환기 시스템(회석식, 비회석식)에서 돼지 체온 변화는 거의 나타나지 않아 건강한 상태가 양호한 것으로 보인다.
- 전반적으로 두 가지 유형의 시스템 및 이에 부착된 바이오필터 시스템이 현장에서 정상 작동 중인 것으로 확인되었으며, 악취제거효율도 거의 100%에 이른다. 그러나 중장기적으로 운용될 경우 미생물과다 서식으로 인한 pad 막힘 등의 문제가 나타날 수 있다.
- 일반적으로 축산현장에 ICT를 적용하는데 여러 가지 어려움이 있으며,, 일단 환경정보를 sensing 해야 함에 있어 축산현장이 악취로 인한 부식, 응결수 등으로 인한 감응방해 등을 극복할 수 있는 sensor 개발을 우선해야 하는 등의 현장에 적용 가능한 practical ICT technology부터 개발해야 한다.

### <3차 년도>

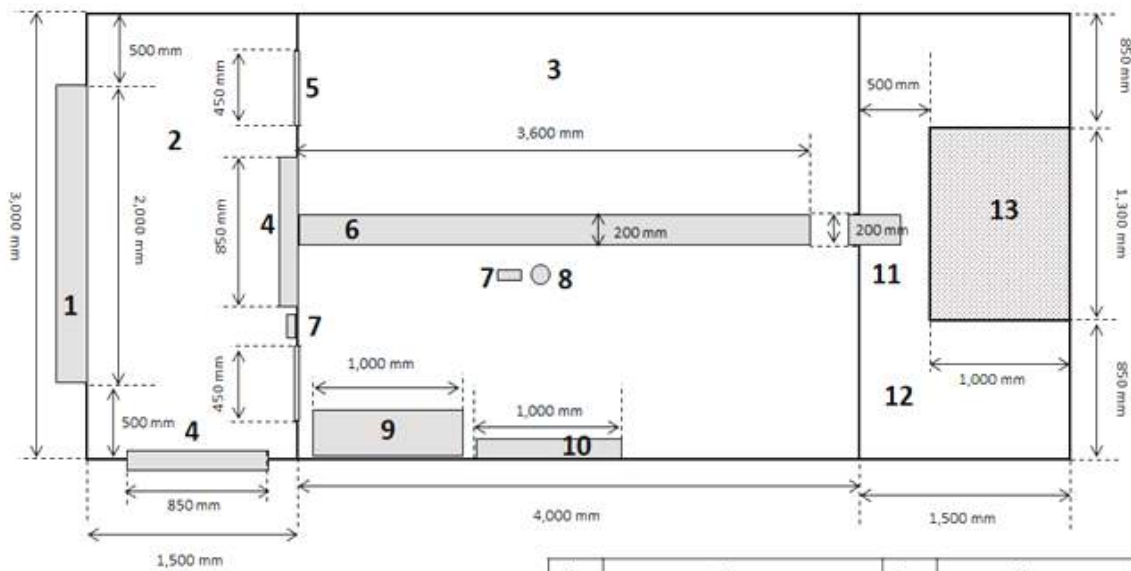
#### 1. 돈사종별(種別)-바이오필터시스템

##### (1) 희석식 VBF 모형돈사 실증실험(2차 실험)

○ 모형돈사 A 모형은 희석식VBF(수직바이오필터) 모형돈사이다. 희석식VBF 바이오필터 모형돈사의 스케치도 및 제원도는 각각 [그림 3.1] ~ [그림 3.4]와 같다. 본 보고서에서는 첫 유형의 VBF돈사를 모형A라 한다. 모형돈사 A는 다음과 같이 설계되어 있다.



[그림 3.1] 실험돈사 (희석식 환기+VBF) 시스템 schme



No.	Name	No.	Name
1	Evaporated cooling pad	8	Ammonia sensor
2	Air conditioning room	9	Feeder
3	Pig growth room	10	Water drink nipples
4	Door	11	Exhaust fan
5	Window	12	Biofilter room
6	Air ventilation inlet	13	Biofilter (Euro)
7	Temperature and humidity sensor		

[그림 3.2] A형 모형돈사 (희석식+수직형바이오필터) 형태도 및 제원 (평면도)

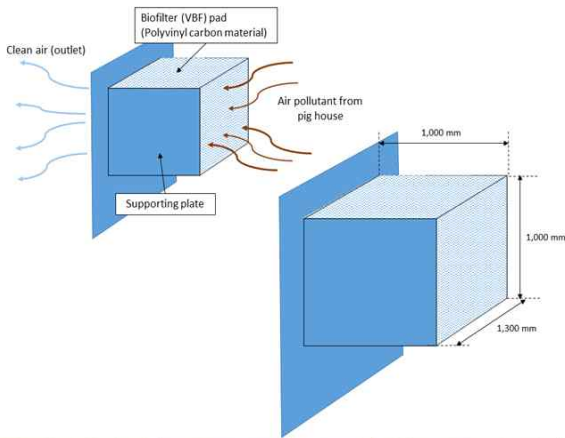
○ [그림 3.2]는 새로 개발된 A형 바이오필터 돈사의 표준도를 보여준다. 환기시스템은 상대적으로 외부 청정공기는 돈사 내부로 들어와 실내 오염공기와 혼합 희석되도록 설계되었으며 공기는 음압(陰壓)시스템으로 배출벽 쪽을 배기(排氣)되게 설계되었다. 그림1.3은 A형 돈사 측면도이며 사육밀도가 1두당 1.1m<sup>2</sup>로 9마리의 실험돼지를 사육하도록 설계하였다. 돈사는 바이오필터실은 개발 중인 수직형 바이오필터 시스템이 장착되어 있다. 그림1.4는 A형 돈사의 횡단면을 보여준다. 사육실으로 들어가는 문은 중앙에 위치하며 관찰창은 문 양옆에 설치된다. 돈사 구성재 A형 특성은 표1.1과 같다. 공기는 외부(environment)로 배출되기 전 바이오필터실 개발 바이오필터 패드를 통과한다. 바이오필터 패드는 박스형태의 층으로 배열되어 있으며 벽위에 설치하였다.([그림 3.4])

[표3.1] 실험 모형돈사A 구성재의 특성 및 제원

구성재	구성특성
Roof material (지붕재)	0.8T의 철판 양면에 우레탄코팅을 한 100mm 두께
Outside wall(외벽)	0.8T의 철판을 양면의 100mm스티로폼
Inside wall (lower)(내벽하단)	철판5mm
Ceiling 천장	0.8T의 철판두께로된 50mm스티로폼
Pit depth (cm) (피트의 깊이)	40
Pit capacity (m <sup>3</sup> ) (피트 용량)	4.8
Floor material (바닥재)	플라스틱 슬랫
Fan type(팬유형)	Euro fan (capacity 400 m <sup>3</sup> /h) 1 fan on the wall, 1 fan on the pit



[그림 3.5] 개발 중인 수직형 바이오필터 제작과정



[그림3.6] 모형돈사A형 바이오필터시스템  
실상도



No.	Description
1	Nozzle for spraying the recirculating water for biofilter system
2	Water pump for circulating the recycled water of biofilter system
3	Recycled water of biofilter system

[그림3.7] 모형돈사A형 바이오필터시스템  
상세특성

○ [그림 3.7]은 VBF 시스템의 상세 설명이다. 시스템은 바이오 필터 패드, 분사 노즐, 워터 펌프 및 바이오 필터 패드용 재활용수로 구성된다. 재활용 수조는 바이오필터 패드 아래에 위치해 있으며 돼지 1마리당 요구되는 VBF의 표준 규격 치수는 [표 3.2]와 같다. VBF 시스템의 성능은 본 보고서의 뒷 절(節)에서 설명한다.

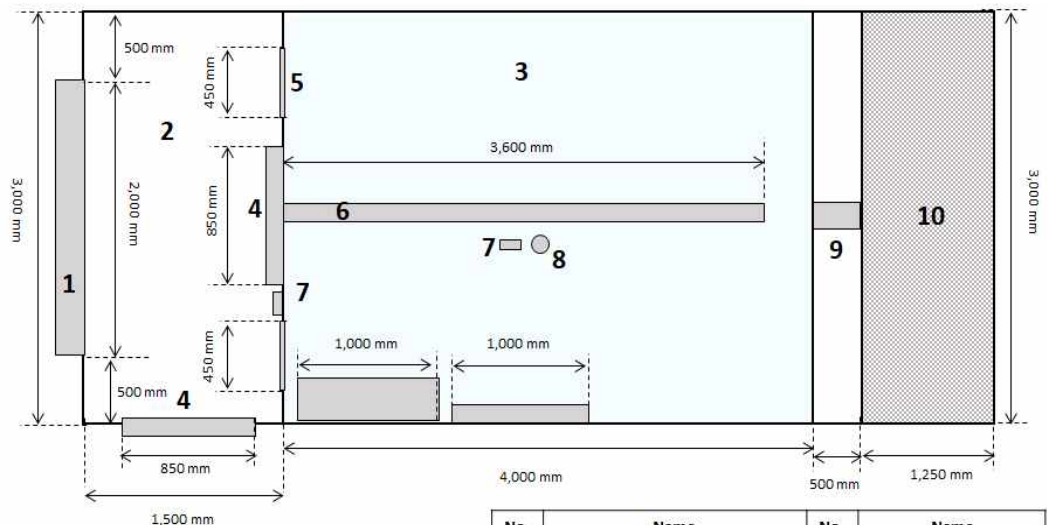
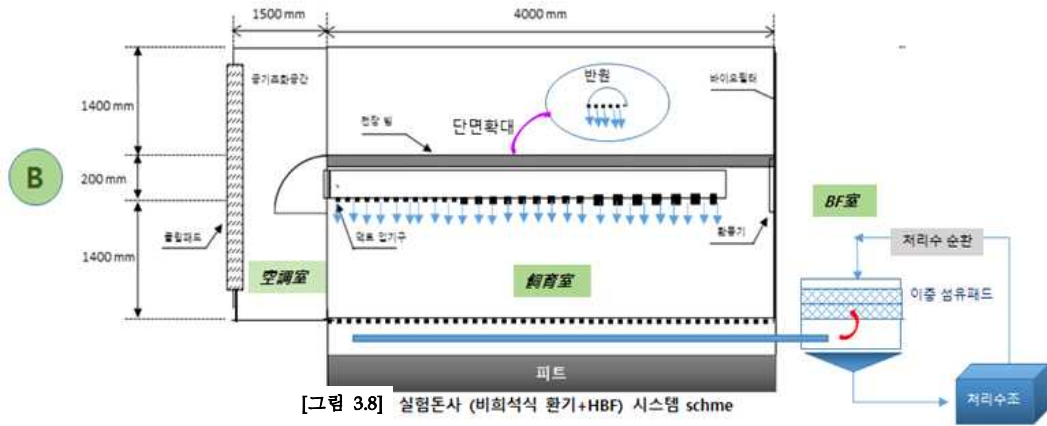
[표 3.2] A형 실험돈사의 사육특성(1 animal unit = 500 kg pig weight)

Parameter (변수)	Value(값)
Height (mm)높이	1,000
Long (mm)길이	1,300
Width (mm)넓이	1,000

## (2) 비회석식 HBF(Horizontal BioFilter) 모형돈사 실증실험(2차 실험)

○ 두 번째 연구모델은 비회석식 수평형 바이오필터 (HBF:Horizontal Biofilter) 실험돈사로서 [그림 3.8] ~[그림 3.13]과 같다. 이 돈사유형은 실험돈사 B형이라 부르며, 특성은 다음과 같다.

○ [그림 3.9] 모형돈사 B형 바이오필터 시스템의 표준 평면도이다. 환기시스템은 돈사내로 들어온 상대적으로 청정공기가 돈사내 오염공기와 혼합되지 않도록 비회석형 (plug-flow)으로 설계되었다. 환기는 음압 시스템으로 피트를 통해 배기(排氣)되도록 설계하였다.

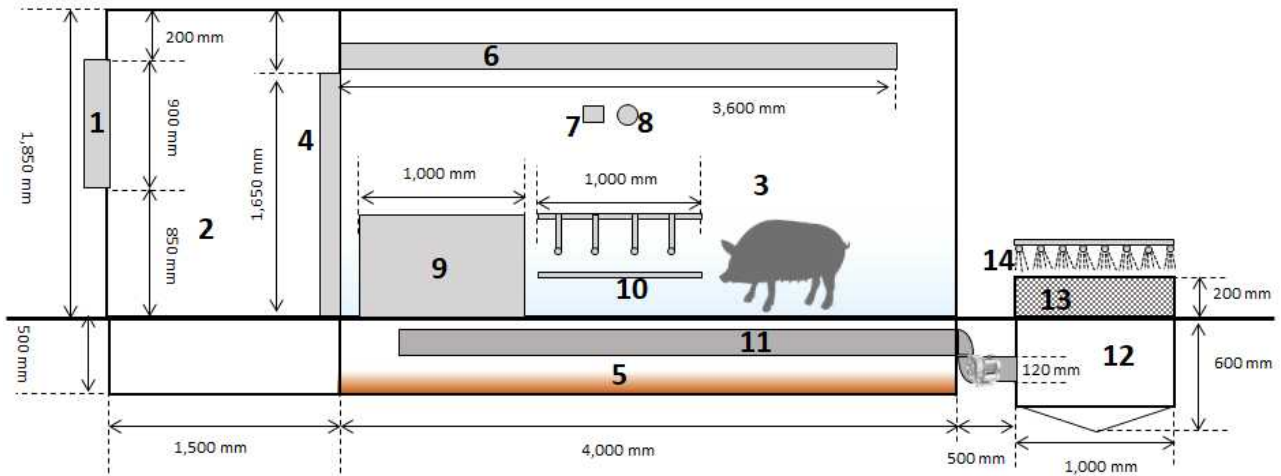


No.	Name	No.	Name
1	Evaporated cooling pad	8	Ammonia sensor
2	Air conditioning room	9	Feeder
3	Pig growth room	10	Water drink nipples
4	Door	11	Exhaust fan
5	Window	12	Biofilter room
6	Air ventilation inlet	13	Biofilter (Euro)
7	Temperature and humidity sensor		

[그림 3.9] B형 실험모형돈사(비회석식 수평형 바이오필터) (평면도)

○ [그림 3.10]은 B형 모형돈사의 측면도로서 입식 밀도는 마리당 1.1 m<sup>2</sup>로 9 마리의 실험돼지를 사육할수 있도록 설계하였다. 모형돈사는 개발 중인 수평바이오 필터시스템을 장착하였다.





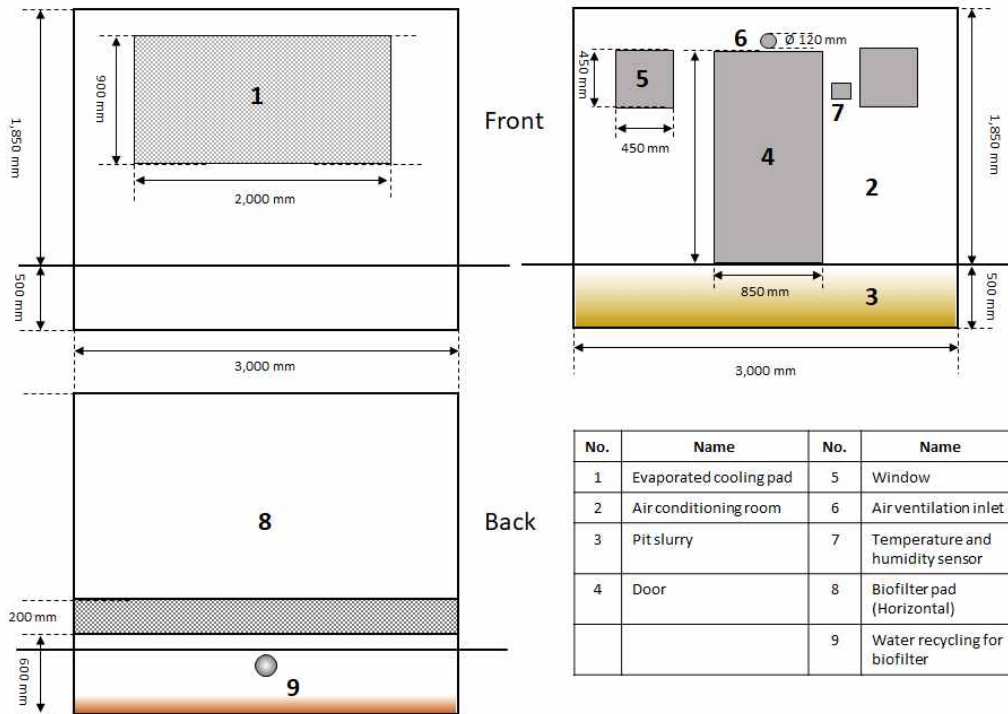
No.	Name	No.	Name
1	Evaporated cooling pad	8	Ammonia sensor
2	Air conditioning room	9	Feeder
3	Pig growth room	10	Water drink nipples
4	Door	11	Exhaust fan
5	Pit slurry	12	Biofilter room
6	Air ventilation inlet	13	Biofilter (Horizontal)
7	Temperature and humidity sensor	14	Water recycling for biofilter

[그림 3.10] B형 실험모형돈사(비희석식+HBF) 형태도 (측면)

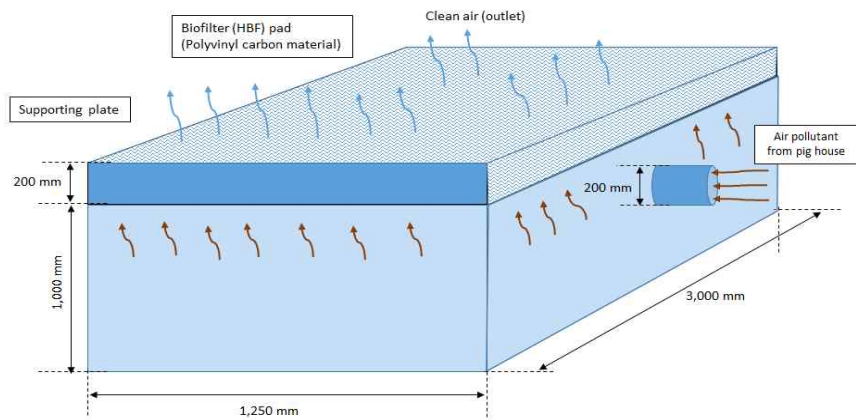
○ 건축 구성재의 특징은 [표 3.3]과 같다.

[표 3.3] 모형돈사 B형 구성재 특성

구성재	사양특성
Roof material(지붕재)	0.8T의 철판 양면에 우레탄코팅을 한 100mm두께
Outside wall(외벽)	0.8T의 철판을 양면의 100mm스티로폼
Inside wall (lower) (내벽(아래층))	철판 5mm
Ceiling (천장)	0.8T의 철판을 양면의 50mm스티로폼
Pit depth (cm)(피트깊이)	40
Pit capacity (m <sup>3</sup> )피트용량	4.8
Floor material 바닥재	Plastic slat
Fan type 팬유형	시로코팬(최대용량 2470m <sup>3</sup> /h) 1팬은 바이오필터 후에 설치



[그림 3.11] 모형돈사 B형 (비히석식+바이오필터) 형태도 및 제원



[그림 3.12] 수평형 바이오필터의 모형돈사 B형 형태도 및 제원

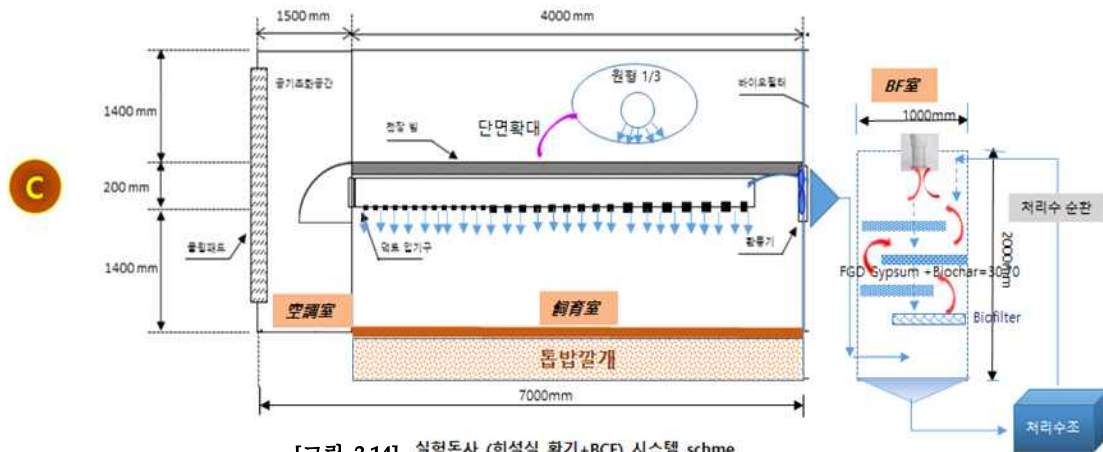


[그림 3.13] 수평형 BF의 실상도

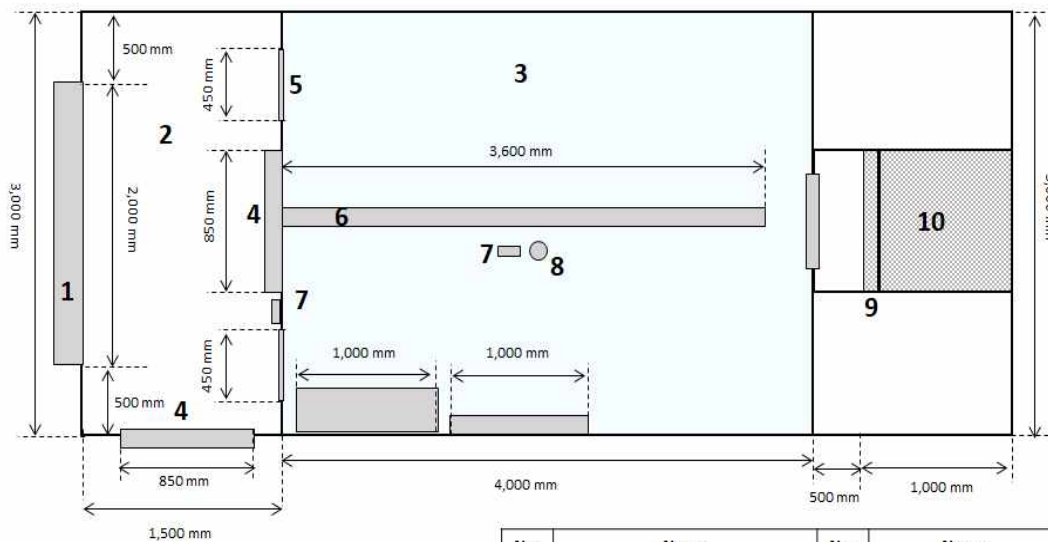
○ 3차년도 수행한 바이오필터 A형 모형돈사의 성능 시험 결과 및 논의는 이 보고서의 분리 절(節)에서 광범위하게 서술한다

**(3) 희석식 Hybride Biofilter(HyBF) 모형돈사 실증실험(2차 실험)**

○ 3차년도 실험한 C형 모형돈사는 희석식 HyBF (하이브리드 바이오필터)로서 톱밥이 깔개 (바닥재)로 사용되었다. 희석식 HyBF C형 모형돈사의 스케치는 [그림 3.14] ~ [그림 3.15] 와 같다.



[그림 3.14] 실험돈사 (희석식 환기+BCF) 시스템 schme



No.	Name	No.	Name
1	Evaporated cooling pad	8	Ammonia sensor
2	Air conditioning room	9	Feeder
3	Pig growth room	10	Water drink nipples
4	Door	11	Exhaust fan
5	Window	12	Biofilter room
6	Air ventilation inlet	13	Biofilter (Euro)
7	Temperature and humidity sensor		

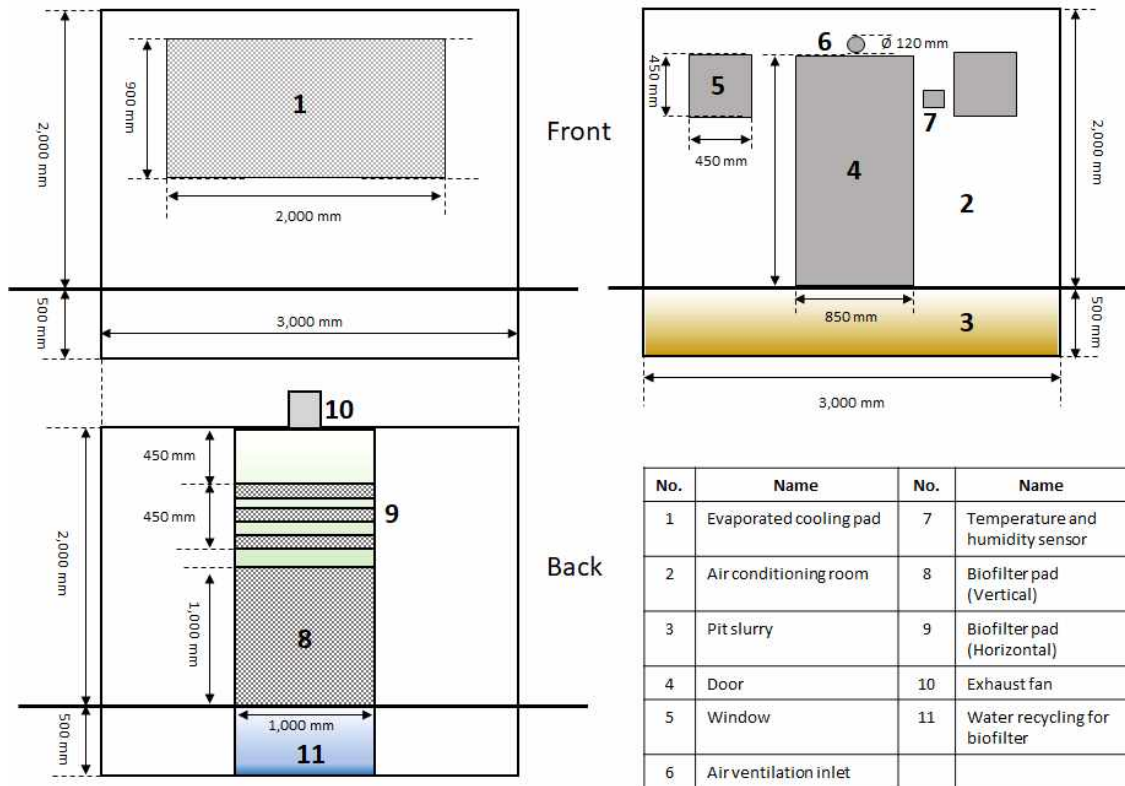
[그림 3.15] 톱밥깔개 HyBF C형 모형돈사의 형태도 및 특성(제원 포함)

○ [그림 3.15]는 개발 중인 C형 모형돈사 평면도이다. 환기시스템은 상대적으로 외부의 청정 공기를 흡입하여 돈사내 오염된 공기와 혼합 희석되도록 설계되었다. 실내의 공기는 음압으로 피트공간을 통해 피트의 악취를 동반하여 바이오필터로 유입되어 악취가 희석되도록 설계하였다. 본 모형돈사 C의 핵심은 돼지의 습성을 최대한 발현할 수 있도록 복지적 측면을 고려하였으며, 악취원이 상대적으로 청정공기와 혼합되지 않도록 설계하였다.

○ 건축 구성재의 특징은 [표 3.4]와 같다

[표 3.4] C형 모형돈사의 건축재 구성 및 특성

구성	사양특성
Roof material (지붕재)	Urethane 100mm coated w/both sides of steel sheet 0.8 mm
Outside wall (외벽)	Styrofoam 100mm coated w/both sides of steel plate 0.8 mm
Inside wall (lower) (하층내벽)	Steel plate 5mm
Ceiling (천장)	Styrofoam 50mm w/both sides of steel plate 0.8 mm
Pit depth, cm (피트깊이)	400mm
Pit capacity (피트용량)	4.8m <sup>3</sup>
Floor material (바닥재)	툽밥갈개 400mm
Fan type (팬특성)	Sirocco fan (max capacity 2470 m <sup>3</sup> /h) 1 fan placed after biofilter system



[그림 3.16] C형 모형돈사 단면도

○ [그림 3.15]은 C형 모형돈사의 종단면도로서 배기되기 전 오염된 실내공기는 바이오필터 시스템을 거친다. [그림 3.16]은 바이오필터 시스템의 크기, [그림 3.17]는 제작된 바이오 필터 패드 실상을 보여준다



No.	Description
1	exhaust fan
2	horizontal hybrid biofilter
3	vertical hybrid biofilter
4	recycled water of hybrid biofilter

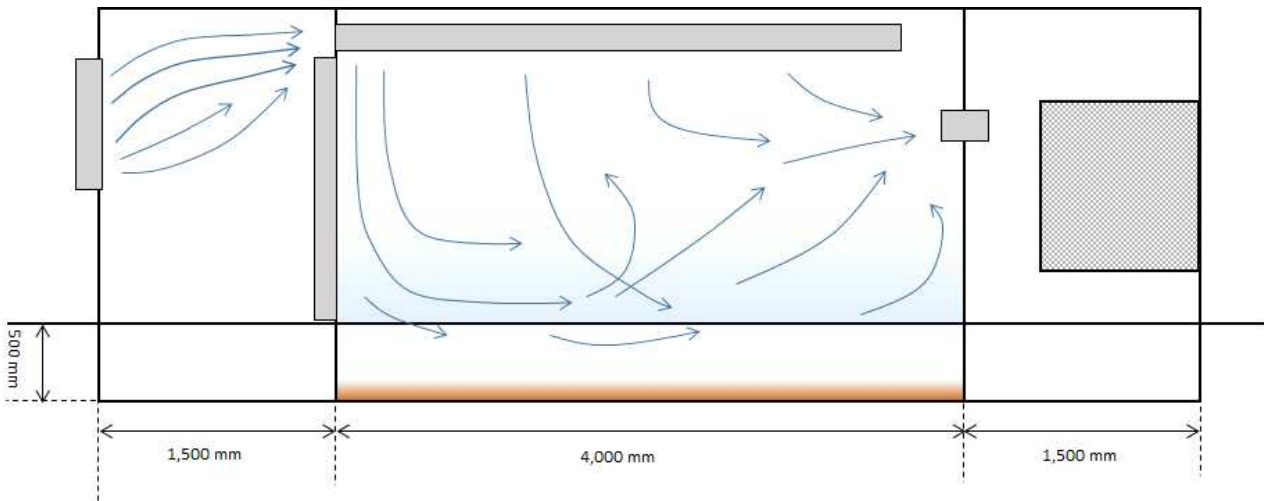
[그림 3.17] HyBF 바이오필터 시스템 실상도

○ [그림 3.17]은 HyBF 바이오필터 시스템과 구성재에 대한 설명으로 바이오필터는 2단계의 바이오필터링으로 이루어져 있다. 바이오필터링의 첫 단계에서는 오염공기는 순환수(재생) 유하(流下)하는 수직 바이오필터 (biofilter) 패드에 직각(perpendicular)으로 입기(入氣)되어 여과된다.([그림 3.17]의 3번). 첫 번째 바이오필터를 통과한 회석공기는 두 번째 바이오필터를 통과한다. 두 번째 여과장치는 3층의 수평 바이오 필터장치로 구성되어 있다. 습도가

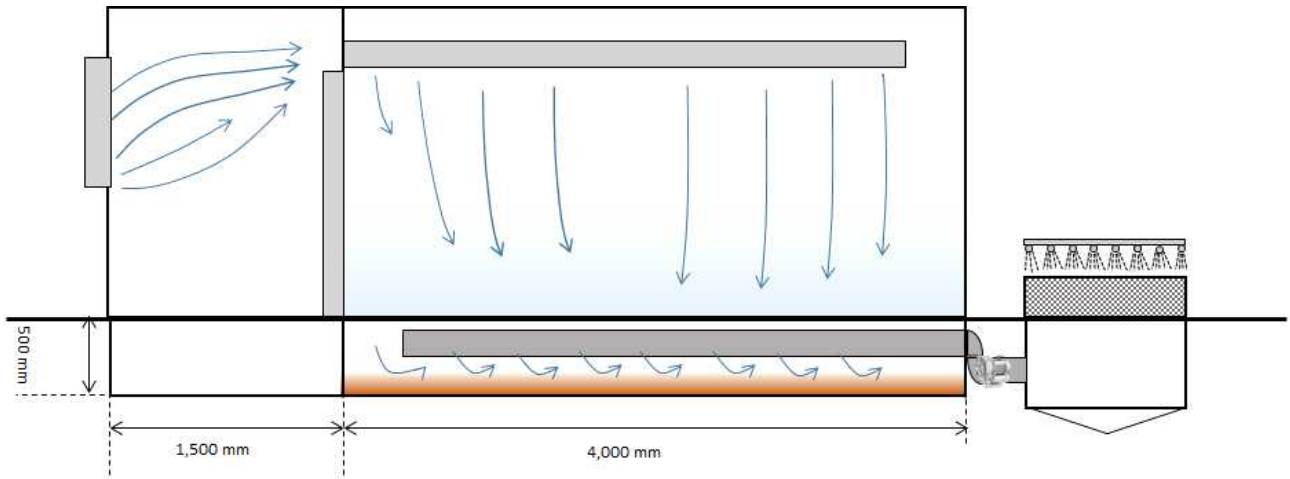
높은 톱밥으로 이루어진 각 층은 악취 흡입력을 높이기 위해 FGD gypsum 및 Biochar를 첨가한다. 공기는 순환수와의 접촉 시간을 증가시키고 바이오필터 pack 구조물의 정압(定壓)을 줄이기 위해 각 층 사이를 hybrid로 유동하게 유도하였다.

#### (4) 환기시스템의 유동 특성 실증실험

- 환기시스템의 공기유동은 기본적으로 희석식과 비희석식 두 유형으로 분류한다. 희석식은 관행적인 유형으로 외부의 상대적으로 청정공기가 유입되어 실내의 오염공기와 혼합되어 오염공기가 희석되는 것을 말한다. 이에 반해 비희석식은 plug-flow 공기유동으로 흡입된 공기가 실내 오염공기와 동반되어(entrained) 혼합되지 않고 피트의 clearance space를 통해 바이오필터실로 흡기(吸氣)된다.
- 본 연구에서는 모형돈사 A, C에는 희석식을, 모형돈사 B에는 비희석식 환기시스템을 적용하여 이들의 환기효율 및 악취저감 효율 등을 검증하였다. [그림 3.18]은 희석식 환기유동을, [그림 3.19]은 비희석식 환기유동을 나타낸다.



[그림 3.18 희석식 환기시스템(모형돈사 A&C)의 관찰 공기유동형태



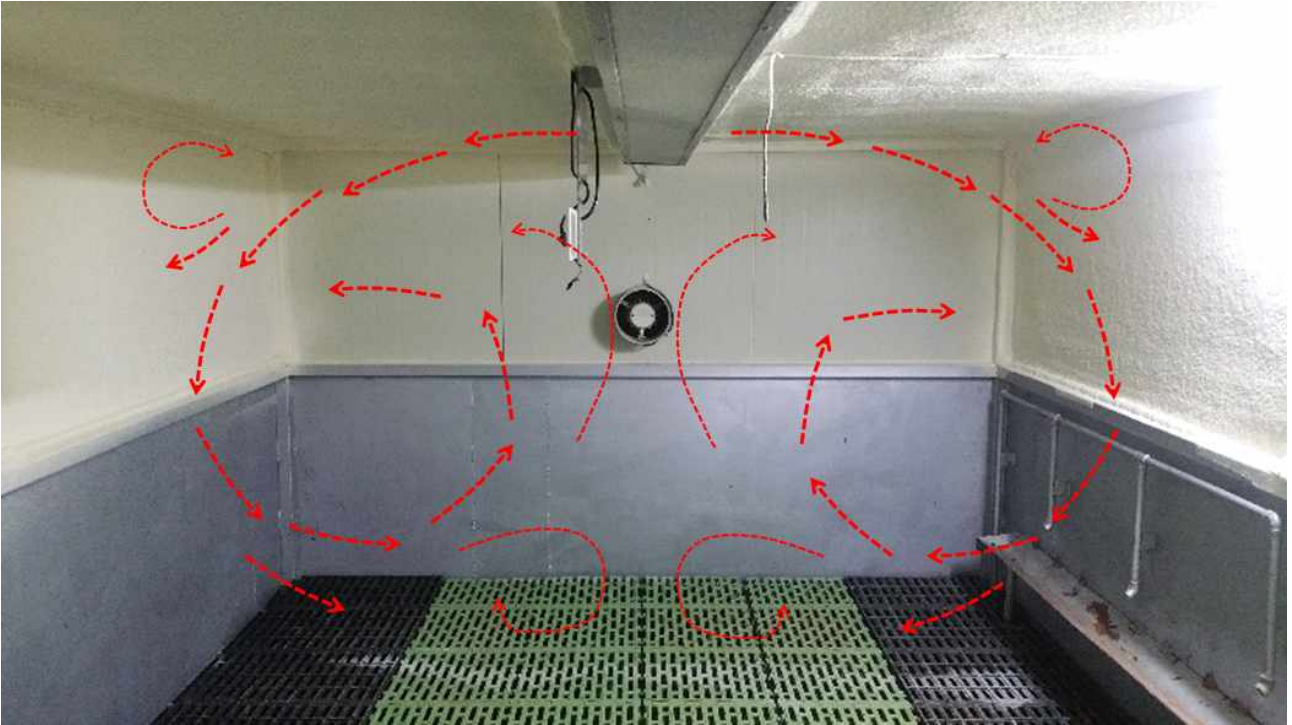
[그림 3.19] 비희석식 환기시스템(모형돈사 B)의 관찰 공기유동형태

### (5) 입기(入氣)덕트 유형이 환기효율에 미치는 영향

○ 본 연구에서 적용한 환기시스템은 1차 공조실에서 흡입된 공기를 조화하여 2차 사육실로 입기한다. 이 때 유입공기의 사육실 내 균배를 위하여 덕트공기분배장치를 활용한다. 3차년 연구에서는 입기덕트 종(種)이 공기균배에 미치는 영향을 분석하였다. 세 가지 유형의 입기 덕트 종(種)중 , 첫 번째 유형은 직사각면체 덕트[그림 3.20], 두 번째 유형은 반원체 형[그림 3.23], 세 번째 유형은 원형 입기덕트[그림 3.26] 이다.



[그림 3.20] 직사면체 입기덕트



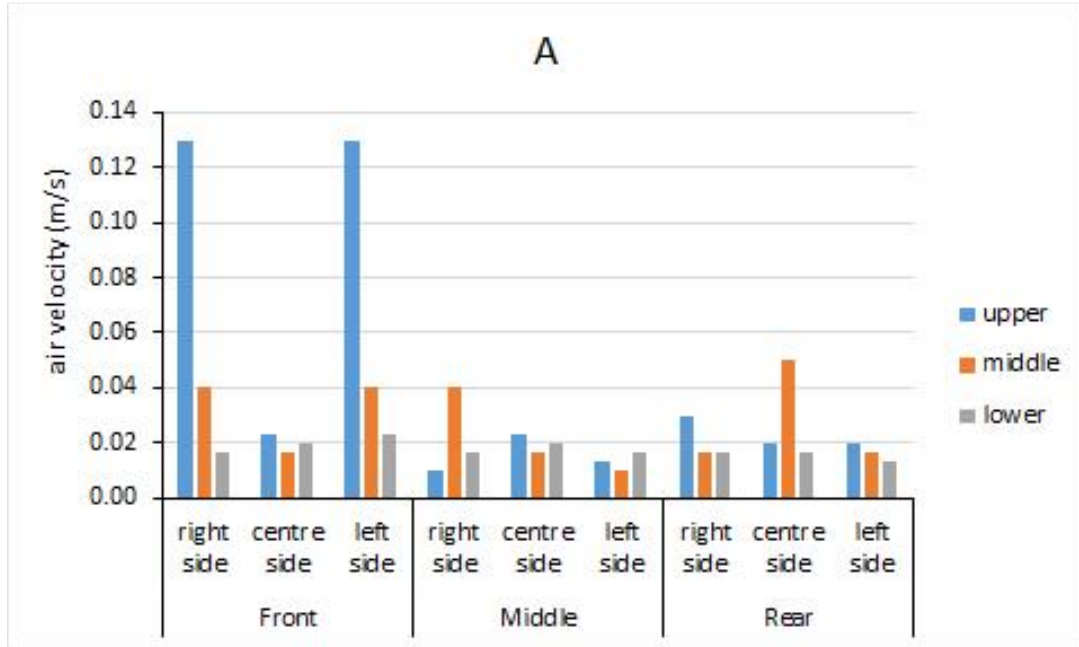
[그림 3.21] 직사면체 입기덕트의 예상 공기유동 형태

○ [그림 3.21]은 A형 모형돈사의 사육실 내부의 공기흐름 패턴을 시각화한 것이다. 이 유형의 입기환기 덕트에서는 입기덕트 양면에 천공이 있기 때문에 중앙선을 중심으로 대칭적 (symetric) 유동 형태를 보인다. 돈사로 들어오는 시계방향으로 크게 재순환유동 (recirculation flow)이 일어나며, 다른 하나는 반시계방향으로 재순환유동이 일어난다. recirculation flow가 일어날 때 주위의 오염공기가 동반(entrain)되어 희석된다. 뒤쪽 벽면의 배기 팬을 통해 밖으로 나오기 전에 돈사 내 양쪽벽의 벽쪽에서 내측으로 약간의 난기류가 발생했다. 일종의 사공간(dead zone)에서 flow separation이 일어난다. 바닥 아래로 흐르는 공기 중 일부는 슬랫을 통과하여 피트로 유입되고 피트안에 설치된 배기 덕트를 통해 흡입되어 바인필터실을 통해 배기된다.

[표 3.5] 모형돈사 A의 최대 팬용량 작동시 지점별 유속변화

지점	Front			Middle			Rear		
	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side
upper	0.13	0.02	0.13	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02
middle	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02	0.01	0.02	0.05	0.02
lower	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01





[그림1.22] A형 모형돈사의 공간별 공기속도 분포

- [그림 3.22]는 직사면체 입기덕트 A형 돈사내부의 공간별 유속 분포를 나타낸다. A형 모형 돈사에서 유속은 앞쪽 중앙부보다 측벽 근처에서 더 높았다. 최대 팬용량에도 유속이  $\Phi(1/10)$ 에 미치지 못하므로 이를 해석하는 데 시간을 쓰는 일은 비효율적이다.
- [표 3.5]에서 돈사내부의 Re 수(數)를 계산할 수 있다. Re수는 여러 가지 유동 상황에서 관성력(inertia force)/점성력(viscous force) 비를 나타내므로 기류의 관성력이 점성력을 얼마나 극복하느냐를 예측하는 중요한 무차원(Dimensionless)양이다. 기류패턴은 층류 (laminar) 또는 난류(turbulent flow) 일 수 있다. 우리가 일상적으로 접하는 대부분의 유동은 난류(亂流)이며 점성이 강한 유스, 벌꿀 등의 유동은 층류(層流)이다. Re수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$\rho$ 는 공기밀도( $1.184 \text{ kg/m}^3$ ),  $\mu$ 는 공기역학 점도 ( $1.849 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ ), L은 길이 (m), v는 유체 (공기) 속도 (m/s)이다.

A형 모형돈사의 전면(前面) 상단에 Re수를 구하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(\left(\frac{0.13 + 0.02 + 0.13}{3}\right) \text{m/s}\right) \frac{4}{3} \text{m}}{1.849 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 7,969 > 2,300 \text{ 난류(亂流)}$$

A형돈사의 전면(前面) 중앙에 방정식을 적용한 결과 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.04+0.02+0.04}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 2,846 \approx 2,300$$

A형 모형돈사의 전면(前面) 하단에 방정식을 적용한 결과 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.04+0.02+0.04}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,708 > 2,300$$

계산 결과는 모형돈사 A의 앞면에서 공기흐름은 위쪽에서 난류, 중간에서 천이(transition region), 바닥에서 층류(laminar)로 나타났다. 이것은 윗면에서 천공에서의 입기jet가 충분한 크기의 momentum를 가지지 못하기 때문이다. 그러므로 여름철에는 기본적으로 모든 지점에서 난류유동을 유도하기 위하여 배기 팬용량을 높여야 할 것이다.

모형돈사 A의 가운데 면(面) 상단에 방정식을 적용한 결과 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01+0.02+0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,138 < 2,300$$

모형돈사 A의 가운데 면(面) 가운데 지점에 방정식을 적용한 결과 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.04+0.02+0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,992 < 2,300$$

돈사 A의 가운데 면 하단의 Re수를 계산한 결과 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02+0.02+0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,708 < 2,300$$

모형돈사 A의 가운데 면은 상, 중 하 지점, 모든 높이에 대해 층류(laminar)flow를 나타내고 있음을 보여준다. 이는 환기관 길이 따른 균일한 정압을 유지할 수 없기 때문이다.

모형돈사 A의 후면 상단의 Re수를 산정한 결과 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03+0.02+0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,992 < 2,300$$

모형돈사 A의 후면 가운데 지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.05 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 2,561 \approx 2,300$$

돈사 A의 하단 뒤쪽에 방정식을 적용하면 다음과 같은 결과가 나타납니다.

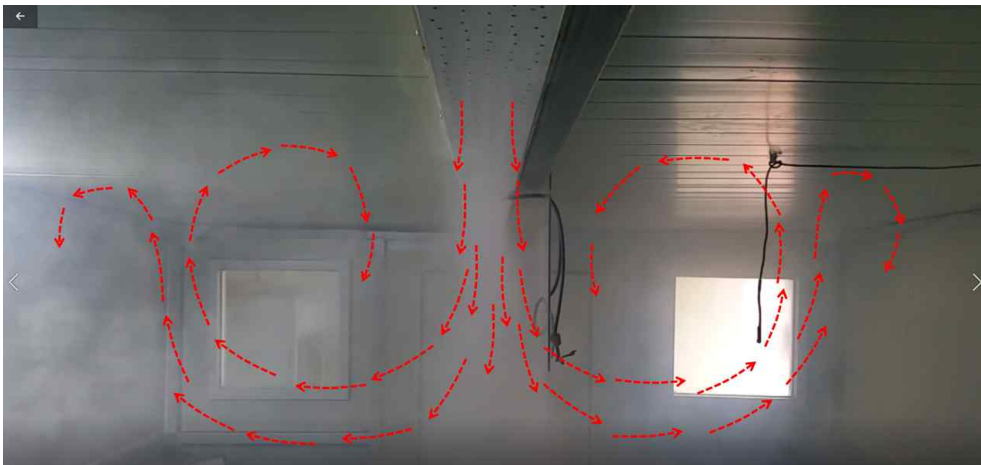
$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.02 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,423 < 2,300$$

분석 결과는 모형돈사(A)의 전면 상단을 제외하고는, 대부분의 지점에서 층류 패턴을 보였다. 이것은 기본적으로 배기팬의 용량이 충분히 크지 못함을 의미한다.



[그림 3.23] 반원 입기덕트

○ [그림 3.23]은 반원형 입기덕트를 나타낸다. 이 덕트에서는 천공이 반원형 덕트의 표면에만 들어졌다. 구멍은 직하방향을 향한다.

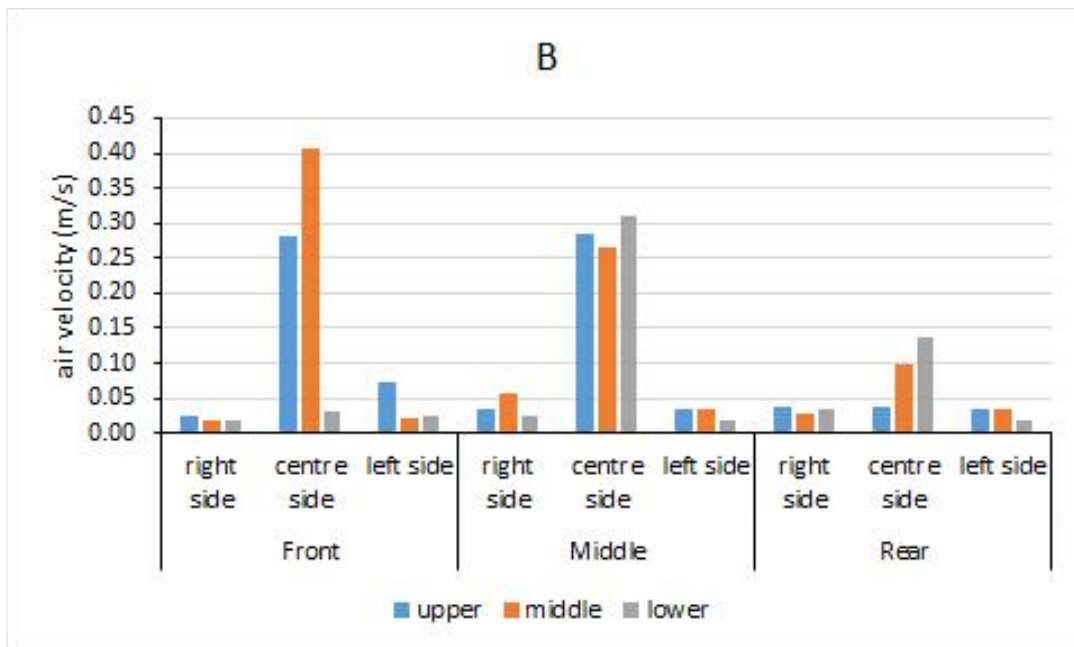


[그림 3.24] 모형돈사 B의 연기분무에 의한 공기유동 시각화

- [그림 3.24]는 반원형 입구 덕트 유형 연무(煙霧)로 공기 유동패턴의 시각화하였다. 천공 jet flow는 곧바로 하향하여 아래쪽 바닥을 치고 순환되어 [그림 3.24]에서 볼 수 있듯이 측벽으로 공기가 흐른다.
- 모형돈사 B의 공기 유동패턴은 [그림 3.24]와 같다. 모형돈사 A의 유동형태와 달리 우반면(右半面)은 반시계 순환, 좌반면(左半面)은 시계방향 순환을 한다. 유입되는 공기가 먼저 돈사의 가운데 중앙에서 바닥으로 직접 내려가 덕트를 통과하여 외부로 난류가 발생함을 시각화하였다. 모형돈사 B형 공기 유동패턴은 A형 돈사와 대조적이었다.

[표 3.6] 모형돈사 B의 최대 팬용량 작동시 지점별 유속변화

지점	Front			Middle			Rear		
	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side
upper	0.02	0.28	0.07	0.03	0.28	0.03	0.04	0.04	0.03
middle	0.02	0.41	0.02	0.06	0.27	0.03	0.03	0.10	0.03
lower	0.02	0.03	0.02	0.02	0.31	0.02	0.03	0.14	0.02



[그림 3.25] 모형돈사 B의 지점별 유속분포

- 모형돈사 B의 유속분포는 [그림 3.25]과 같다. 이 돈사B에서 가장 높은 유속은 사육실 전면 중앙지점으로 다른 지점보다 약 30 ~ 40 % 높다.

[표 3.6]에서 B형 모형돈사 전면(前面) 상부(上部)지점 Re수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.28 + 0.07}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 10,530 > 2300$$

모형돈사 B의 전면(前面) 가운데 지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.41 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 12,807 > 2,300$$

모형돈사 B의 전면(前面) 하부지점의 Re수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.03 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,992 > 2,300$$

분석결과는 모형돈사 B의 앞면에 대해 상부지점과 가운데 지점에서 기류가 난류가 발생하였고 바닥 부분에서 층류가 나타남을 알 수 있다. 이것은 상부에서 난류가 kinetic energy를 얻어 가속되었다가 돼지 체고를 에서는 jet가 확산되면서 유속이 급격히 떨어짐을 알 수 있다.

모형돈사 B의 가운데면 상부지점의 Re 수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.28 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 9,676 > 2,300$$

모형돈사 B의 가운데면 중앙지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.27 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 9,392 > 2,300$$

모형돈사 B의 가운데면 하부지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.31 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 9,961 > 2,300$$

분석결과는 모형돈사 B의 가운데 면 모든 높이에서 난류 공기흐름 패턴을 보여준다. 그 이유는 돈사 B의 중앙에 위치한 공기입기관 아래에서 높은 유속으로 인함이다. 수평천공에서 하향 jet flow는 어떤 방해도 받지 않기 때문에 jet expansion으로 인한 유속감속 외에는 원인을 찾을 수 없다.

모형돈사 B의 후면 상부지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.04 + 0.04 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 3,131 > 2,300$$

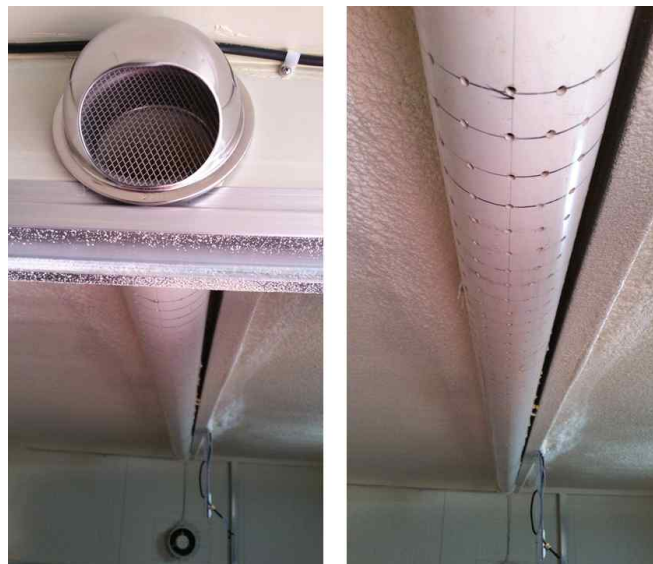
모형돈사 B의 후면 중앙지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.10 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 5,554 > 2,300$$

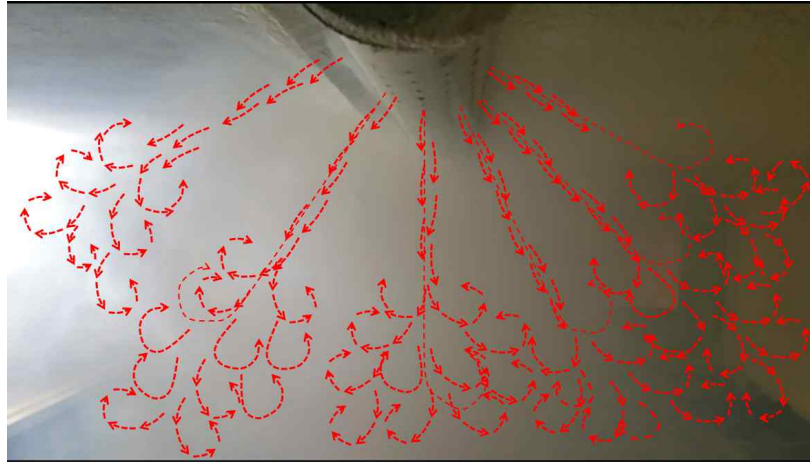
모형돈사 B의 후면 하부지점의 Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.14 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 5,407 > 2,300$$

분석결과 가운데 면과 유사하게 돈사 B의 후면의 모든 높이에서 난류의 공기 흐름을 나타남을 알 수 있다. 난류기류는 모형돈사 B의 일반적인 기류 패턴으로 하향기류가 충분한 momentum 을 가지고 있기 때문이다. 모형돈사 A에서 기류 패턴은 층류와 난류가 섞이는데 이는 입구가 돈사의 상단에서 양측면으로 향하게 되어 있어 모형돈사 A의 입기덕트 설세가 거리에 따른 정압을 일정하게 유지하지 못하기 때문으로 이해된다.



[그림 3.26] 모형돈사 C의 원형 입기덕트

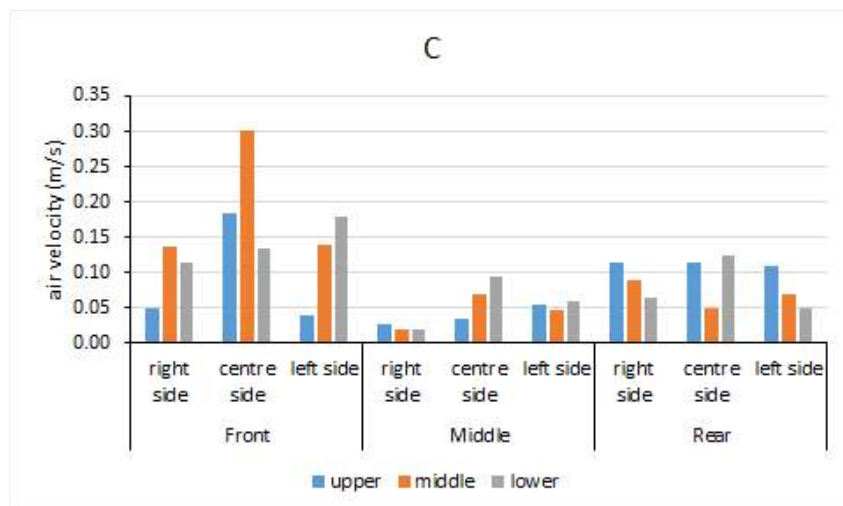


[그림 3.27] 모형돈사C의 원형입기덕트의 유동가시화

○ [그림 3.27]은 모형돈사 C의 원형 입기덕트로서 천공 원형파이프 표면 직하방향 뿐만 아니라 하향 4시~8시 120도 원주방향으로 6개 열 천공이 나있다. 천공지름은 5mm이다. 원형 입기덕트의 공기유동 패턴은 [그림 3.28]에 나타나 있다. 모형돈사 C의 공기속도 분포는 [표 3.6]에 나타나 있다. 유속이 지점별로 균배(均配)되어 있음을 알 수 있다. 공기속도는 사육실 우측단면, 가운데면 및 왼쪽단면에서 대칭(symetric)을 이루고 있다. 그러나 전면(前面), 가운데 면(面) 및 후면(後面)의 공기 속도는 다른데 이는 입기덕트 길이에 따른 불균일한 정압차 때문으로 여겨진다.

[표 3.6] 모형돈사C의 지점별 유속분포

	Front			Middle			Rear		
	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side
upper	0.05	0.18	0.04	0.03	0.03	0.05	0.11	0.11	0.11
middle	0.14	0.30	0.14	0.02	0.07	0.05	0.09	0.05	0.07
lower	0.11	0.13	0.18	0.02	0.09	0.06	0.06	0.12	0.05



[그림 3.28] 모형돈사 C의 최대 팬용량 적용시 지점별 유속분포

모형돈사C 전면 상부지점 Re수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.05 + 0.18 + 0.04}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 7,684 > 2,300$$

모형돈사C 전면 가운데 지점 Re수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.14 + 0.03 + 0.14}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 16,507 > 2,300$$

모형돈사C 전면 하부지점 Re수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.11 + 0.13 + 0.18}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 11,953 > 2,300$$

분석결과는 모형돈사 전면 공기흐름은 모든 높이에서 난류였음을 확인된다. 이는 모형돈사 B와 비슷한 유형이었다. 모형돈사 C의 입기덕트의 천공구가 하향(下向) 고속으로 유입되어 돈사 C에 들어간다. 그럼에도 불구하고 돈사 C의 속도는 돈사 B의 속도보다 낮았다. 모형돈사 C는 원형 파이프에 균등하게 분포하고, 모형돈사 B에서는 입구가 반원형 파이프의 바닥에서 균등하게 분산되었다. 이는 질량보존의 법칙(law of mass conservation)에 따라 모형돈사 B의 단면적이 적은 반원형 입기덕트 의 천공유속이 클 수 밖에 없다.

모형돈사 C의 가운데 면(面) 상부지점의 Re 수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.03 + 0.05}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 3,131 < 2,300$$

모형돈사 C의 가운데 면(面) 가운데 지점의 Re 수를 계산하면 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.07 + 0.05}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 3,984 < 2,300$$

모형돈사 C의 가운데 면(面) 하부지점의 Re 수를 계산하면 :



$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.09 + 0.06}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 4,838 > 2,300$$

분석결과는 전면과 비슷한 형태로 모형돈사 C의 가운데 면도 모든 높이에서 난류 패턴을 나타낸다. 이는 모형돈사C의 가운데 위치하는 입기덕트 천공유속 때문일 수 있다. 또한, 돈사 C의 입구는 돈사 A의 입구가 측면을 향한 것과 달리 바닥을 마주하고 있다.

모형돈사 C 후면 상부지점의 Re수(數)는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.11 + 0.11 + 0.11}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 9,392 > 2,300$$

모형돈사 C 후면 가운데 지점의 Re수(數)는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.05 + 0.05 + 0.07}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 5,977 > 2,300$$

모형돈사 C 후면 하부지점의 Re수(數)는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.06 + 0.12 + 0.05}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 6,546 > 2,300$$

분석결과는 모형돈사C의 전면(前面), 가운데 면(面), 후면(後面) 모든 높이에서 난류를 나타낸다. 전형적인 기류 패턴인 난류는 모형돈사 C에서도 보인다. 이는 천공 jet기류가 모형돈사 C로 증가하는 하강 공기로 인해 발생할 수 있다. 모형돈사 A에서 기류 패턴은 입구가 돈사 상부로 향하며 기류의 momentum(운동량)이 충분히 크지 못해 유속이 감소되며 층류와 난류가 혼재된다.

[표 3.7] 모형돈사 A,B,C의 초대팬용량 가동시 지점별 Re수 분포

	A			B			C		
	Front	Middle	Rear	Front	Middle	Rear	Front	Middle	Rear
upper	7969	1138	10530	10530	9676	3131	7684	3131	9392
middle	2846	1992	12807	12807	9392	4554	16507	3984	5977
lower	1708	1708	1992	1992	9961	5407	11953	4838	6546

- [표 3.7]은 최대 배기 팬용량 작동시 Re수를 요약한 것이다. 기본적으로 돈사 내부의 기류 패턴은 난류이나 모형돈사의 하부, 돼지체고, 에서는 층류패턴이 관찰된다. 만약 겨울철이라면 어떤 측면에서는 바람직 할 수 있다. 그러나 배기팬 최대용량은 실제 여름철에 적용하므로 여름철 체고수준의 유속이 거의 Order of magnitude (1/10)이므로 이는 너무 약하다. 향후 실험시 유속과 팬용량의 상관관계이것은 바닥근처의 낮은 부분에서 바닥면과의 마찰에 의해 공기의 속도를 크게 감소시킨다. 분석결과는 [그림 3.21], [그림 3.24] 및 [그림 3.27]에서와 같이 연무기를 사용한 공기흐름 시각화를 통해 공기흐름 패턴을 관찰할 수 있다.

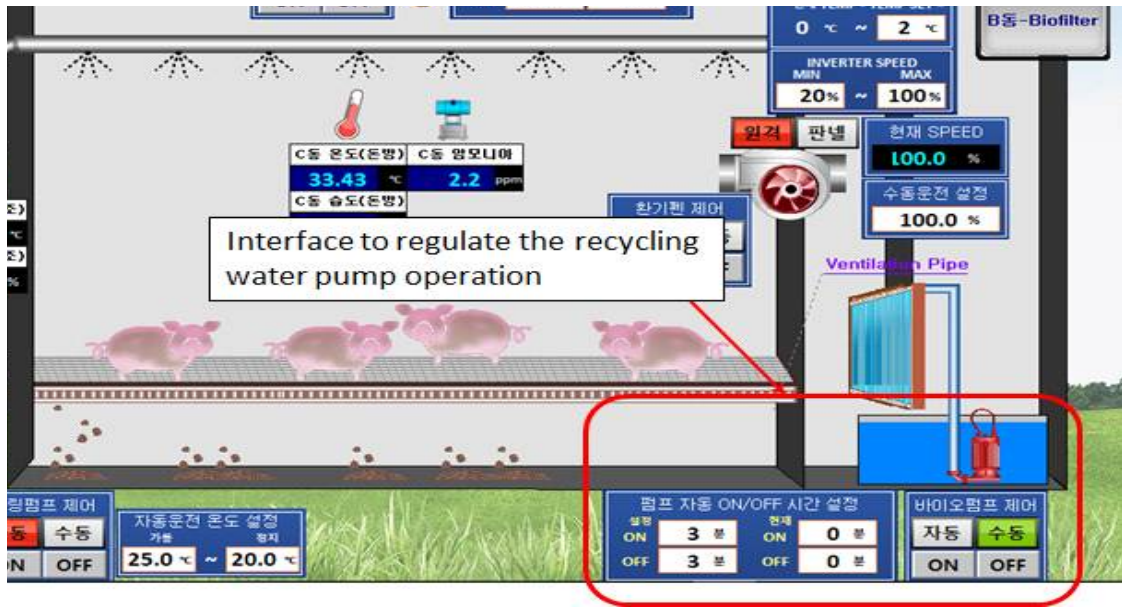
#### (6) 처리수 순환 시스템 설치 및 개선

- 일정 기간 가동 후 바이오 필터의 순환수 양은 감소되는데 이는 가동하는 동안 물의 증발이 일어나기 때문이다. 물의 손실률은 한달에 약 10~15 %로 추정되며 따라서 재활용순환수 조(槽)를 보충하기 위한 시스템이 갖춰져야 한다.



[그림 3.29] BF 재순환수에 인입되는 처리수 water leveling

- 3년차 연구에서는 ICT 규정에 따라 바이오필터 재활용 시스템의 물순환 과정이 개선되었다. 재활용수 탱크는 수위조절 센서에 의해 제어되는 수중 펌핑(揚水)시스템에 의해 자동으로 채워진다. 재활용탱크의 수위조절 센서가 저(抵)레벨을 감지하면 센서는 폐수탱크(MBR)의 펌프를 작동시켜 처리된 폐수를 재활용수 탱크 [그림 3.29]로 보내도록 신호를 보낸다.



[그림 3.30] BF재순환수 제어 Interface

○ ICT 제어로 바이오 필터용 재활용수 양수(揚水)시스템이 개선되었다.[그림 3.30]. 설정제어는 on/off 타이머 설정으로 조정할 수 있다. 따라서 바이오필터의 재활용 지속시간을 설정하는 방법은 폭넓게 자유로이 선택할 수 있다.

○ 본 연구에서는 처리된 폐수로 세 가지의 다른 바이오필터에 사용하였다. 처리폐수는 각각의 바이오필터시스템으로 분산시키기 전에 일시적으로 이송수집탱크에 모이게 된다.[그림 3.31]



[그림 3.31] 바이오필터시스템 재순환 처리수조



[그림 3.32] air-jet 폭기기(瀑氣機) 잠수

- 충분한 산소공급이 필요한 폐수처리과정을 최적화하기 위하여 폐수 시스템의 호기조에 버블젯 (bubble jet) 에어레이터(통기) 믹서를 설치했다. 버블 젯 혼합 통기 장치 시스템 설치 는 [그림 3.32]에 나와 있다. 버블젯 혼합 기계를 사용하면 한 번에 두 가지 처리가 이루어 지며 혼합과 산소공급이 가능하다.



[그림 3.33] 모형돈사의 악취저감을 위한 MBR 처리수 살포

- 폐수 시스템의 최종 생성물은 MBR 처리수이다. 재활용 처리수 생산의 지속 가능성을 최적 화하기 위해 MBR 물을 재순환시켜 바이오 필터 시스템의 재료로 사용하고 돈사내부에 살 포하여 악취를 줄일 뿐만 아니라 돈사의 높은 온도를 저감, 가습(可濕) 등에 활용된다[그림 3.33].

## 2. ICT시스템 적용(Application of ICT system)

### (1) ICT 설치 과정

- ICT 시스템 설치시 다음과 같은 절차가 필요함

- 가. 현장 조사 (패널 위치, 센서 설치 위치 및 통신 방법)
- 나. 패널 디자인 작업 및 패널 제작
- 다. 패널 설치 및 마무리 완료
- 라. PLC 및 HMI 프로그램 작동 (통신 및 작동logics)
- 마. 테스트 실행 (모션 테스트, 통신 테스트, 데이터 가치 검증 등)
- 바. 행정 교육 (작동법 및 구성 방법)

- [그림 3.33] ~ [그림 3.46]에는 바이오필터를 갖춘 파일럿돈사에서 ICT 시스템의 설치과정을 보여준다. 첫 번째 단계는 패널 위치, 센서 위치 및 이러한 통신 방법을 결정하기 위한 현장 조사이다. 패널의 위치는 건조하고 물을 사용하지 않아야 하며, 접근하기 쉽고 장비들로부터 멀리 떨어져 있지 않아야 한다.



[그림 3.33] 모형돈사A, B 패널 설치 전 내부 실상도



a



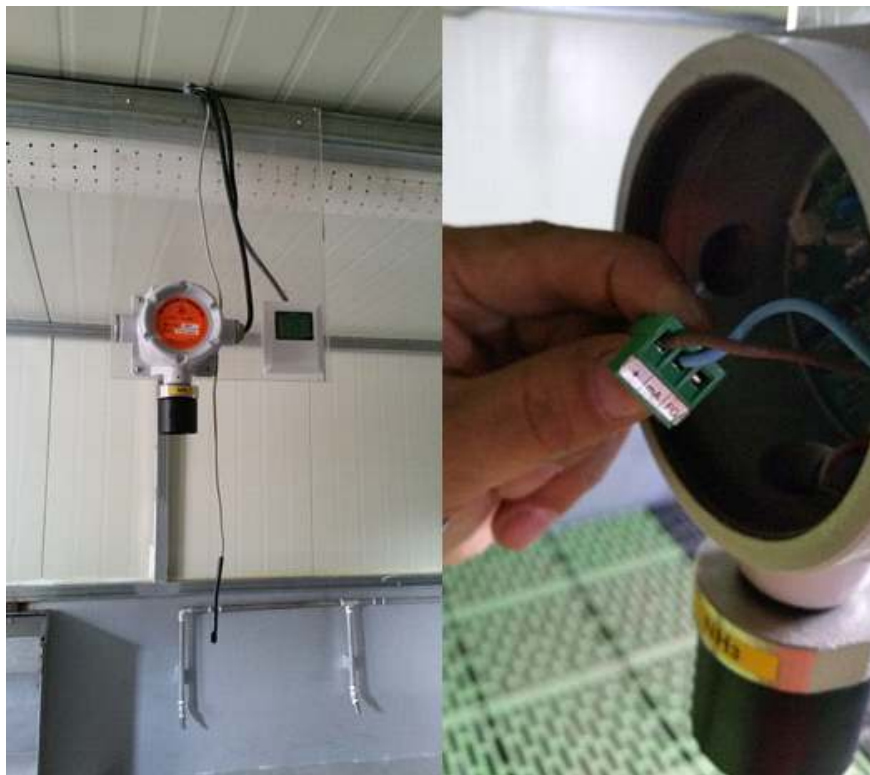
b

[그림 3.34] (a) 모형돈사 A, (b) 모형돈사 B의 설치료된 PLC패널

○ [그림 3.33]은 패널 설치 전의 돈사 상태를 나타낸 것이다. 조사활동에 따라, 패널은 공조실에 두 개 설치 하였다. 패널 1은 모형돈사 A를, 패널2는 모형돈사 B의 시스템을 각각 감당한다. ICT 패널은 축산 환경에서 사용할 수 있도록 내구성이 있는 스테인레스 재질로 제작되었다.



[그림 3.35] 모형돈사 A, B, C 암모니아 센서 설치

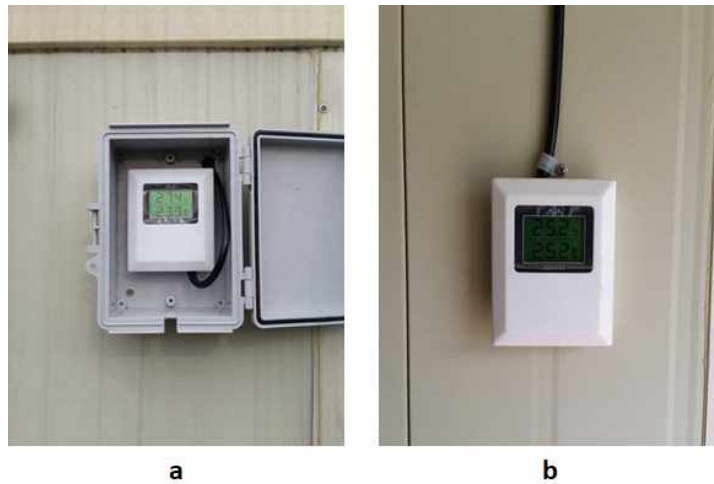


[그림3.36] 모형돈사 사육실내 암모니아 센서 설치



[그림 3.37] 센서 설치 전과 설치 후

- [그림 3.37]은 센서 설치 전의 모형돈사 내부를 보여준다 ([그림 3.37]a 설치전), ([그림 3.37]b 는 설치후). 온도와 습도에 대한 센서는 각 유형의 모형돈사 공조실뿐만 아니라 건물밖에도 설치된다.



[그림 3.38] 온도습도센서 설치 (a) 외부 (b) 공조실

- [그림 3.38]은 공조실과 건물 외부에 설치된 온도 및 습도 센서를 나타낸다. 기본 온도 및 습도 정보를 얻기 위해 ICT 시스템에 온도 및 습도 센서의 설치가 전체되는데 돼지 성장최적범위내 제어가 가능하다.



[그림 3.39] 모형돈사A 패널 (a) 인버터 설치전 (b) 인버터 설치후



[그림 3.40] 모형돈사 B, C 패널 B 인버터 (a) 설치중과 (b) 설치후

○ 패널 및 장비 설치 후 다음 단계는 인버터 설치이다. 자동 제어되는 장치는 먼저 인버터에 연결된다. 그런 다음 인버터에서 PLC 패널에 연결된다. 이번 연구에서 범용 인버터는 모터의 속도를 매우 정확하고 가변적으로 제어하는 장치로서 환기팬이 원활하게 정확한 rpm에서 작동하도록 한다. Panel A의 인버터 설치 작업은 [그림 3.39]에 제시되어 있고 [그림 3.40]의 모형돈사 B와 돈사 C의 장치를 제어하기 위한 Panel B의 인버터 설치 작업이다. 인버터 회로는 인입과 반대로 표시되는 logic레벨의 전압을 출력한다. 이 구성은 전력 소모를 줄인다. 이 시스템의 인버터는 펌프 및 팬 장비와 PLC 패널 사이에 구성된다.



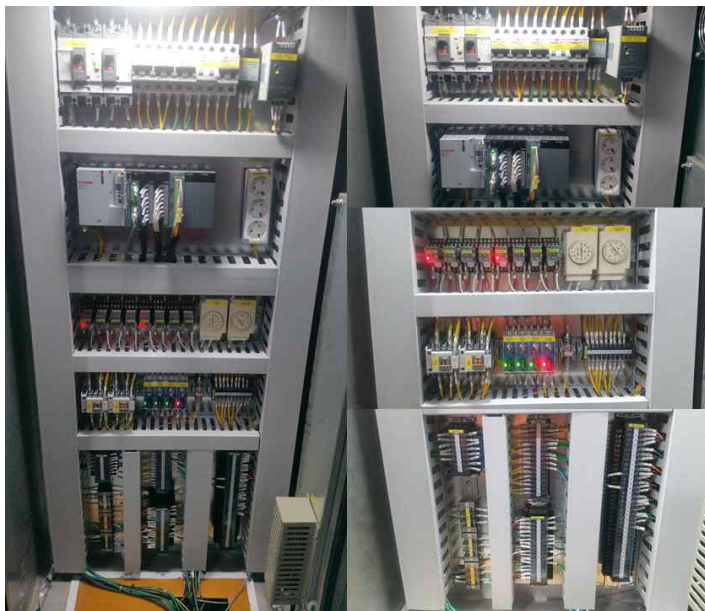
[그림 3.41] 모형돈사 A의 펌프 센서장치 (a) 연결하는 중 (b) 연결 후





[그림 3.42] 모형돈사 B의 펌프 센서장치를 (a) 연결하는 중 (b) 연결 후

○ 다음 단계는 펌프 및 공기 팬 장치를 인버터 및 PLC 패널에 연결하는 작업이다. [그림 3.41]과 [그림 3.42]은 송풍기와 워터펌프기구를 인버터와 각 모형돈사에 연결하는 작업을 보여준다. 각 와이어는 연결되기 전에 일반적으로 레이블을 붙인다.



[그림 3.43] 모형돈사의 사육실-바이오필터 운영시스템의 PLC 패널 회로



[그림 3.44] 모형돈사 사육실-바이오필터 touch screen 컴퓨터 패널 PLC

○ 완성 PLC 패널과 회로는 [그림 3.43과 [그림 3.44]와 같이 설치된다.

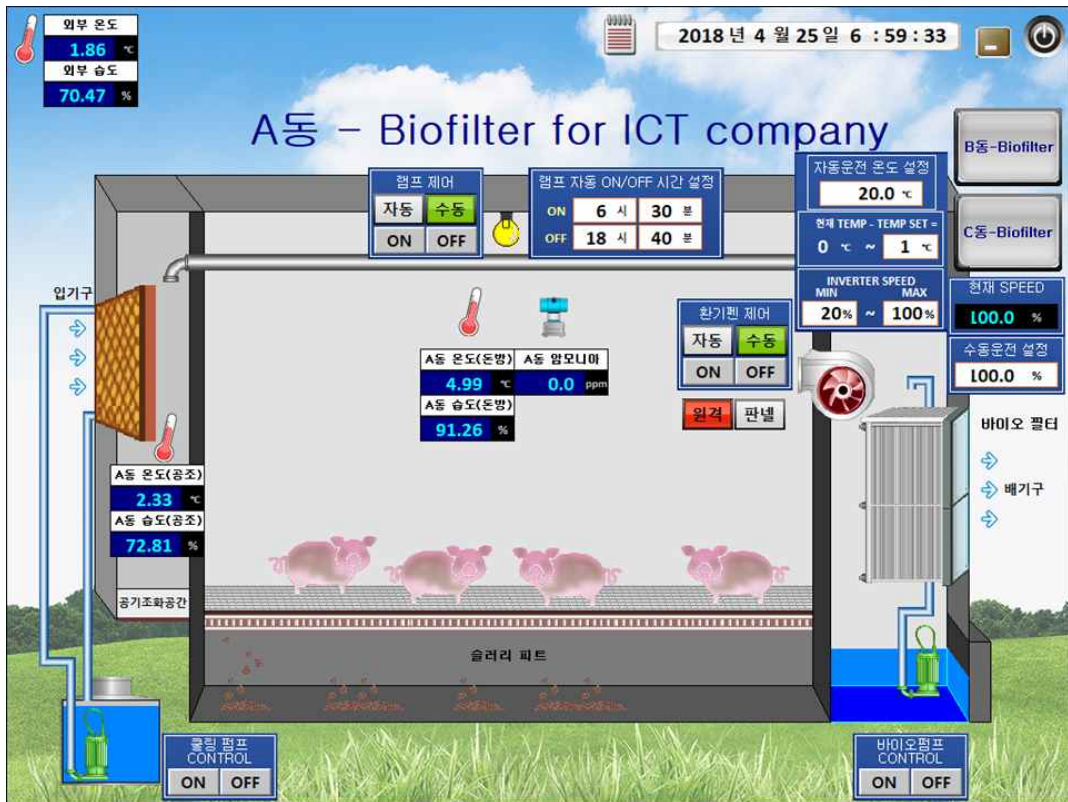


[그림 3.45] PLC 프로그램과 HMI PLC 작업중

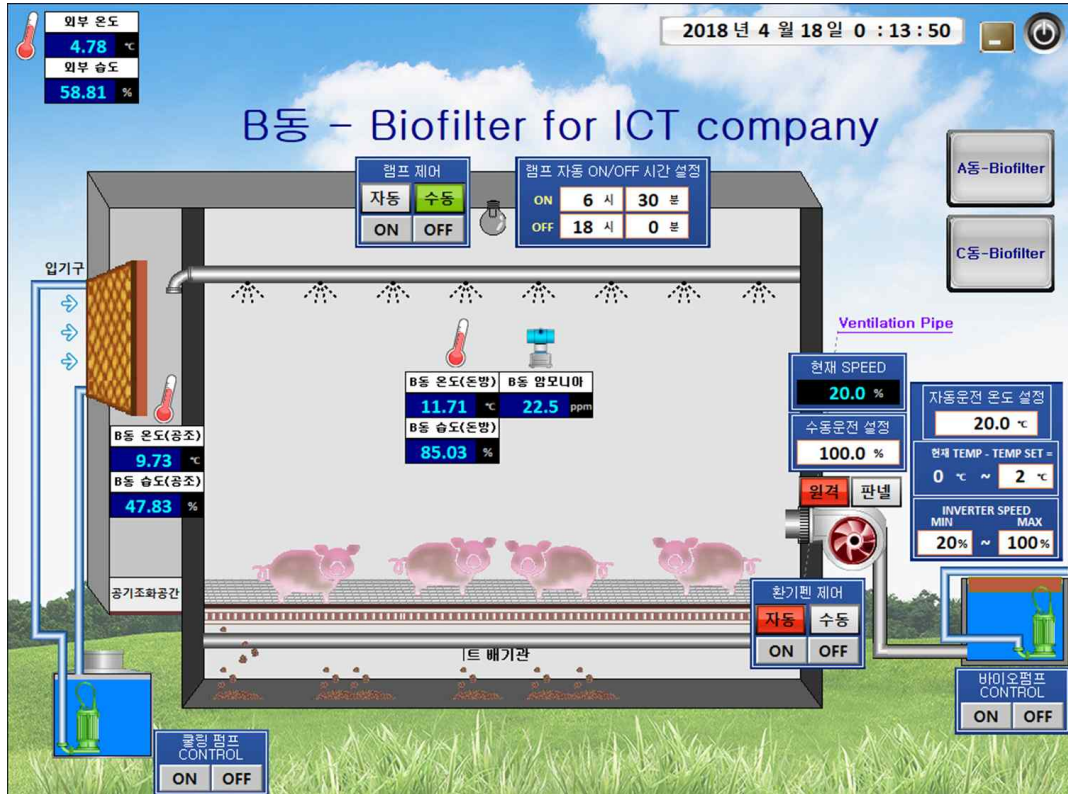


[그림 3.46] 사육실-바이오필터 구동제어와 모니터링 touch screen 컴퓨터 장치

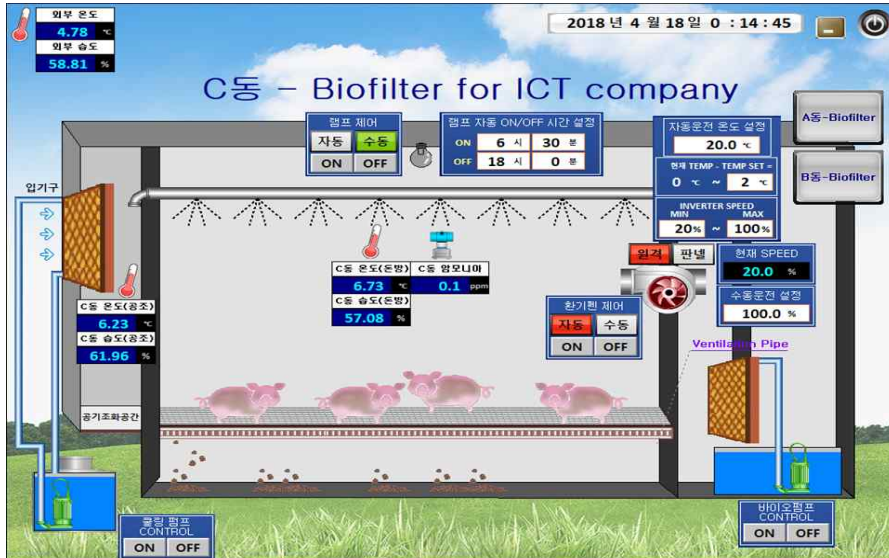
○ [그림 3.45]는 PLC와 HMI의 프로그램 설치 작업을 보여주며 [그림 3.46]은 사육실-바이오필터 작동을 모니터링하고 제어하기 위한 터치스크린 장치 컴퓨터를 나타낸다.



[그림 3.47] 모형돈사A의 사육실-바이오필터 운영 시스템의 GUI

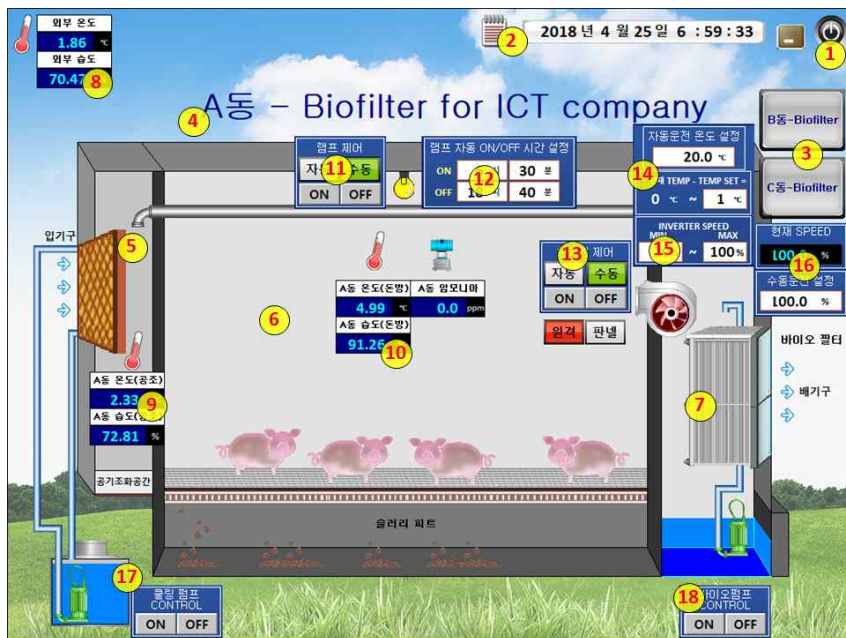


[그림 3.48] 모형돈사B의 사육실-바이오필터 운영 시스템의 GUI



[그림 3.49] 모형돈사C의 사육실-바이오필터 운영 시스템의 GUI

- 개발된 그래픽-사용자-인터페이스(GUI) 적용을 통해 사용자는 돈사 내에서 ICT 시스템작업과 작동을 제어하고 있다. 본 연구에서 개발된 세 가지 유형의 모형 돈사에서 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)는 [그림 3.47]1~[그림 3.49]와 같다.
- [그림 3.47]은 A형 모형돈사에 대한 GUI를, 그[그림 3.48] B형 모형돈사에 대한 GUI를, 그[그림 3.49]은 C형 모형돈사에 대한 GUI를 보여준다.
- 사용자가 돈사의 상태를 관리하도록 GUI에게 몇 가지 기능이 탑재되었다. 적용 가능한 몇 가지 기능은 [그림 3.50]과 같다. [표 3.8]는 각 버튼의 세부 기능, 그림 3.50]에 표시된 애플리케이션 디스플레이를 설명하고 있다.

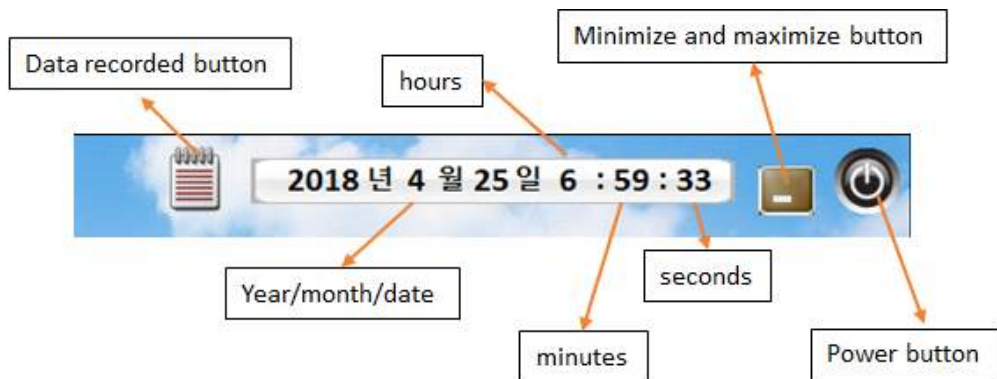


[그림 3.50] 사육실-바이오필터 운영제어 서버의 특성

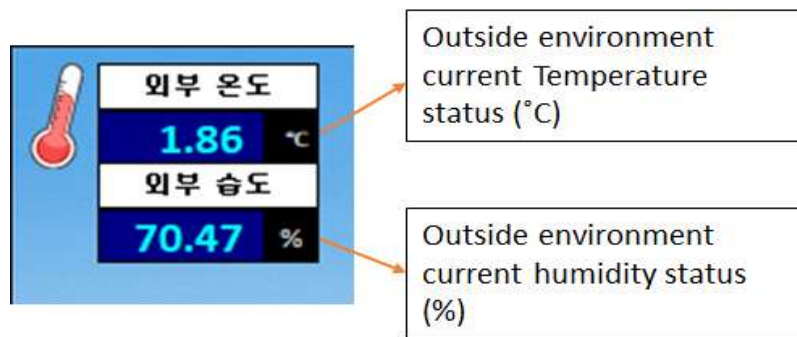
[표 3.8]. 모형돈사 제어serve 특성과 기능

Part No.	Description	Function
1	power button	to turn on and turn off the management control system
2	date, time and database record	to show the current date and time and to access the data recorded
3	pig house - biofilter type selection button	to choose and view the other pig house-biofilter system type management control
4	current Pig house-biofilter system	this showed the current pig house-biofilter system management control
5	air conditioning compartment	air conditioning room with evaporative cooling pad system
6	main production compartment	The room for growing pigs
7	biofilter system compartment	The compartment where the biofilter system and its water recycling system is installed
8	Outside environmental condition	to show the current outside environmental condition (temperature, humidity)
9	conditioning compartment environmental condition	to show the current air conditioning compartment environmental condition before coming into the pig growing compartment (temperature, humidity)
10	main production compartment environmental condition	to show the current environmental condition inside the pig growing compartment (temperature, humidity, ammonia)
11	Lamp operation controller	to control (turning on and turing off) the lamp operation and to switch either manually or automatically lamp operation
12	Lamp time setting	to set the time when is willing to be off and when is willing to be on
13	Fan operation controller	to control (turning on and turing off) the fan operation and to switch either manually or automatically fan operation
14	Temperature setting controller	to set the designated temperature inside the pig house compartment
15	Fan speed percentage setting controller	to set the minimum and maximum fan speed in percentage during the automatic operation
16	Fan speed status and seting	to see the current power fan operation in percentage and to set the designated fan power during the manual setting operation
17	Cooling pad recycling water controller button	to turn on and off the water recycling pump for cooling pad operation
18	Biofilter recycling water controller button	to turn on and off the water recycling pump for biofilter system operation

○ 다음은 controller 관리 콘솔(console)의 버튼과 메뉴에 대한 상세설명이다.

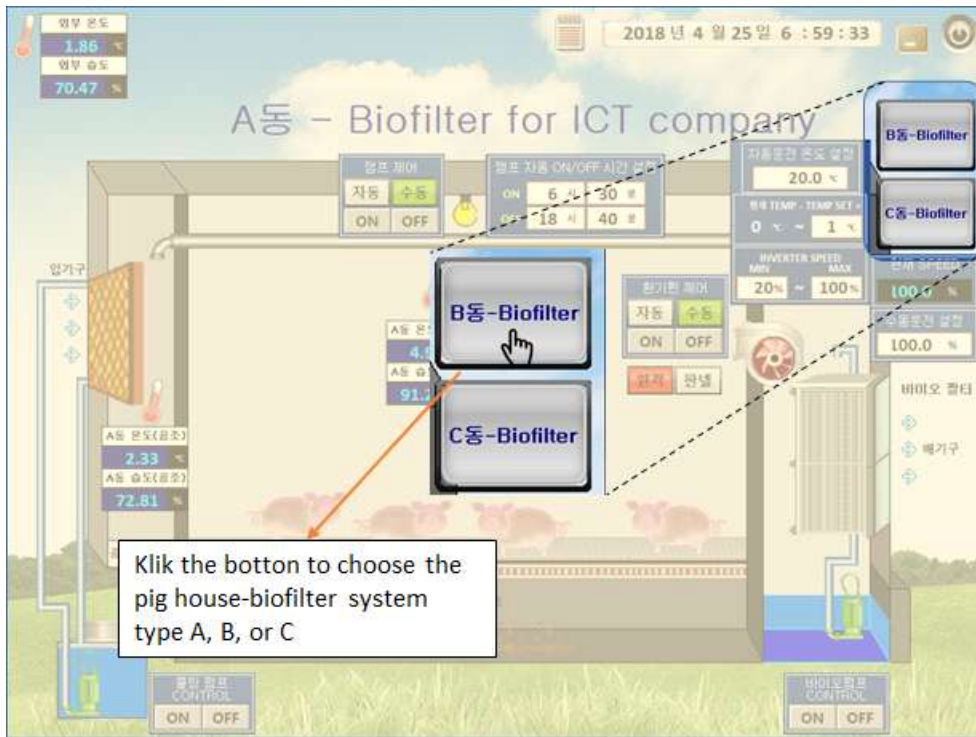


[그림 3.51] 전원설정(power setting), 자료 및 시간상태, 자료기록 접속

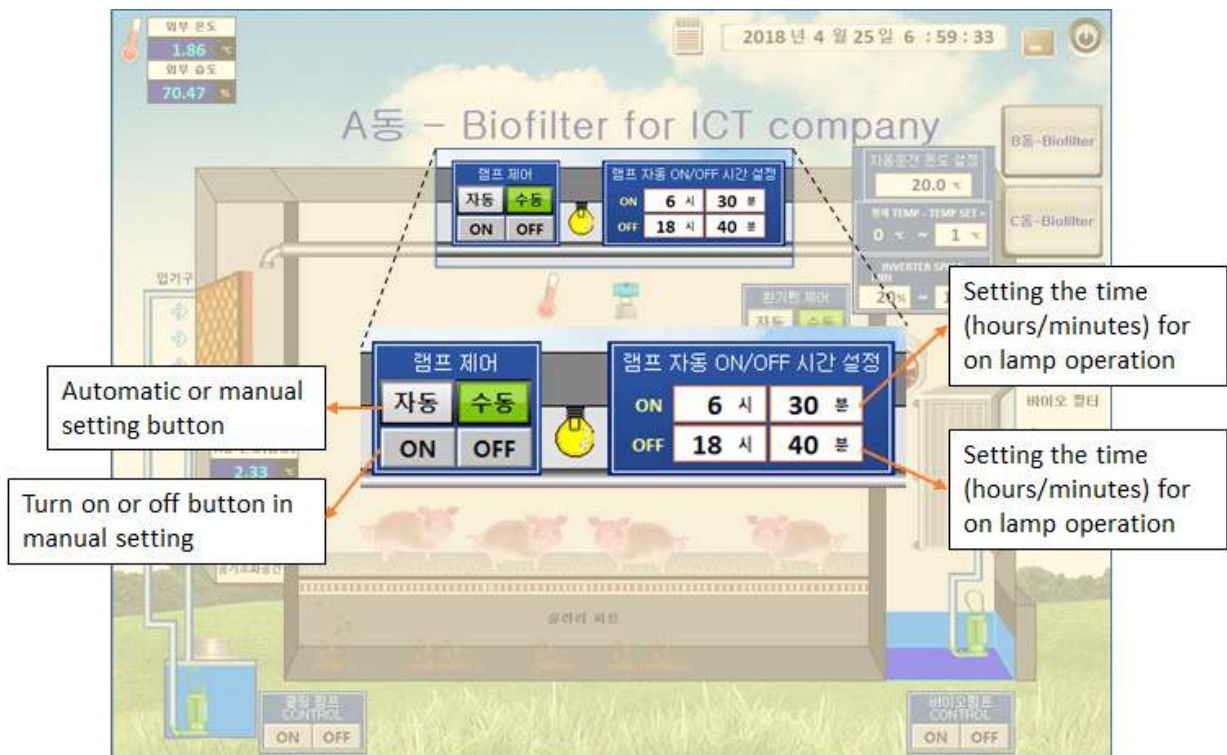


[그림 3.51] 실시간 제어요인 외기온도,습도

- [그림 3.51]는 전원 버튼, 날짜 및 시간 상태 및 데이터 다운로드를 위한 버튼을 보여준다. [그림 3.50]은 외부 온도 및 습도의 현재 상태를 나타낸다. 이러한 데이터는 빅데이터를 수집하기 위해 시스템에 의해 정기적으로 저장된다.
- 바이오필터 모형돈사의 각 유형을 모니터링하고 제어하기 위한 인터페이스는 분리되어 있지만 모두 하나의 터치스크린 컴퓨터에 포함되어 제공된다. [그림 3.52]는 모형돈사 A형, B형 또는 C형 바이오필터 돈사시스템의 모니터링 및 제어 인터페이스를 선택하기 위한 버튼 메뉴를 나타낸다.

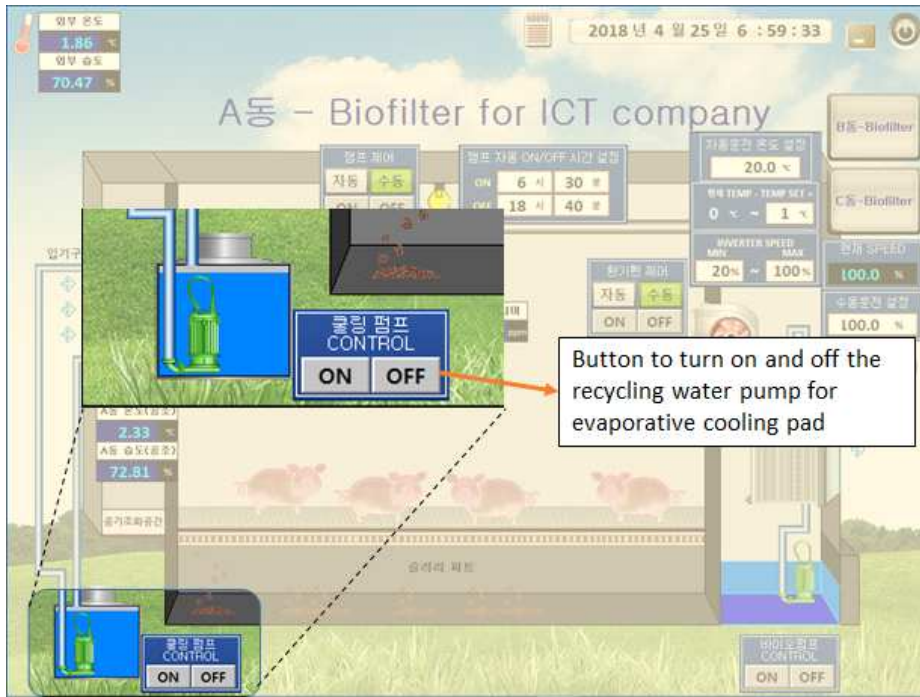


[그림 3.52] 모형돈사A, B, C 의 운영, 관찰대상 선택 buton



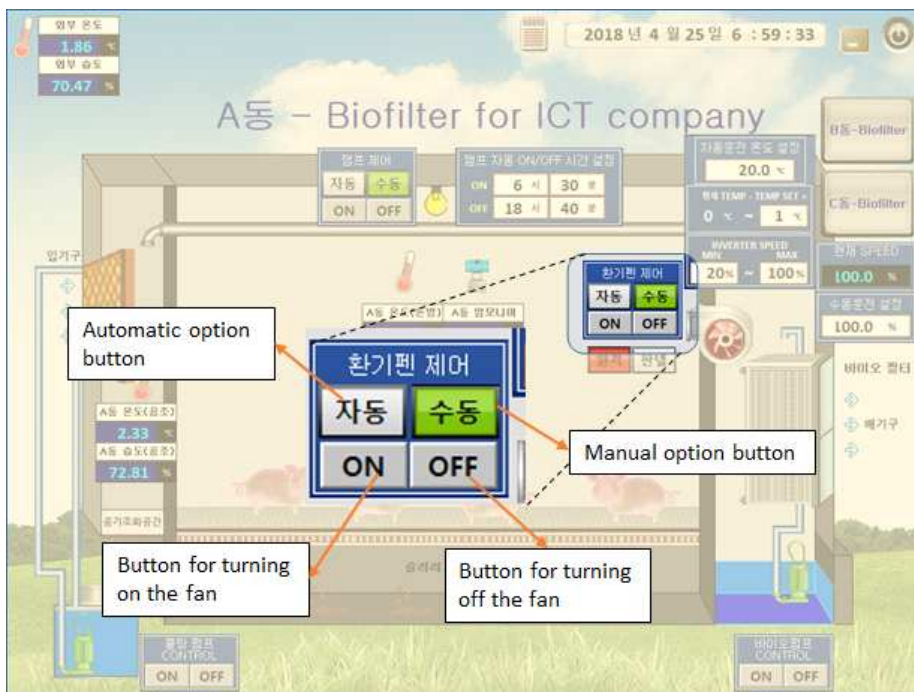
[그림 3.53] 광환경 수동 제어 설정

○ [그림 3.53]은 조명등 제어 메뉴이다. 램프는 자동 또는 수동 방식으로 제어 할 수 있다. 시간은 지정된 시간과 분이 켜짐 또는 꺼짐 모드로 설정할 수 있다.



[그림 3.54] 증발냉각수 재순환 펌프제어

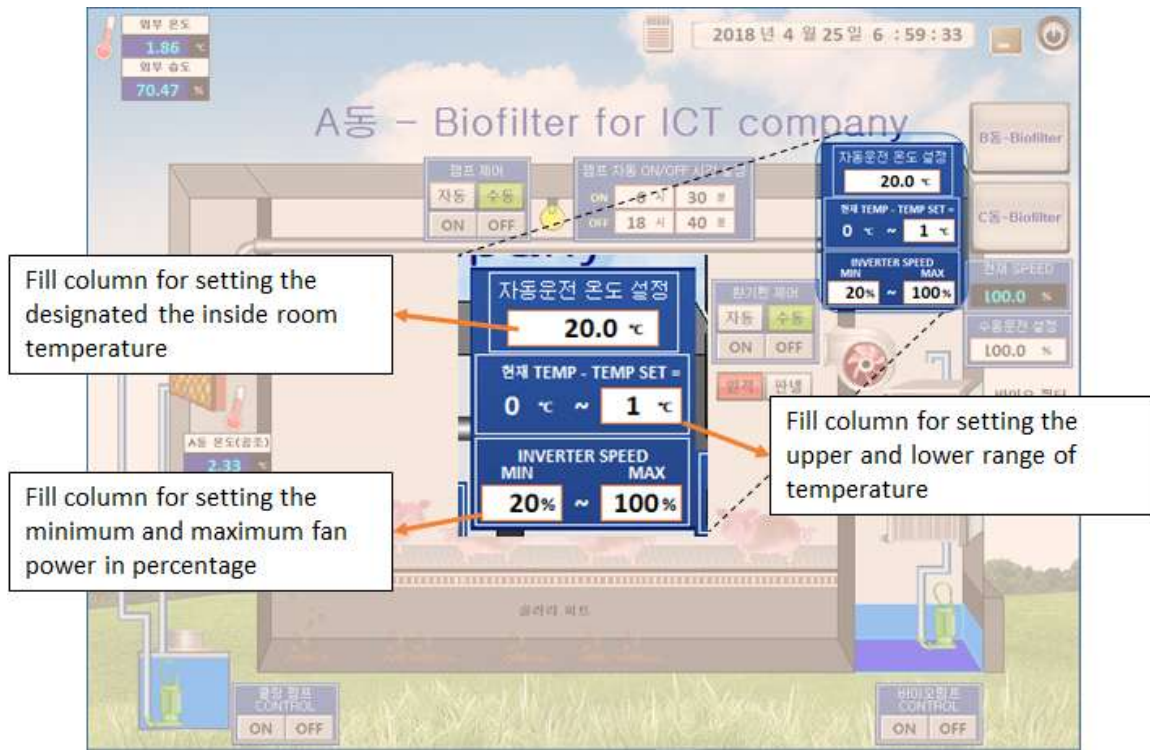
○ [그림 3.54]은 증발식 냉각시스템의 물재순환 펌프 작동을 제어하는 기능을 보여준다. 이 시스템의 이 단계에서만 메뉴를 ON/OFF 있으므로 운영자는 지정된 펌프 작동을 수동으로 설정해야 한다



[그림 3.55] 환기팬제어 On/OFF 제어 특성

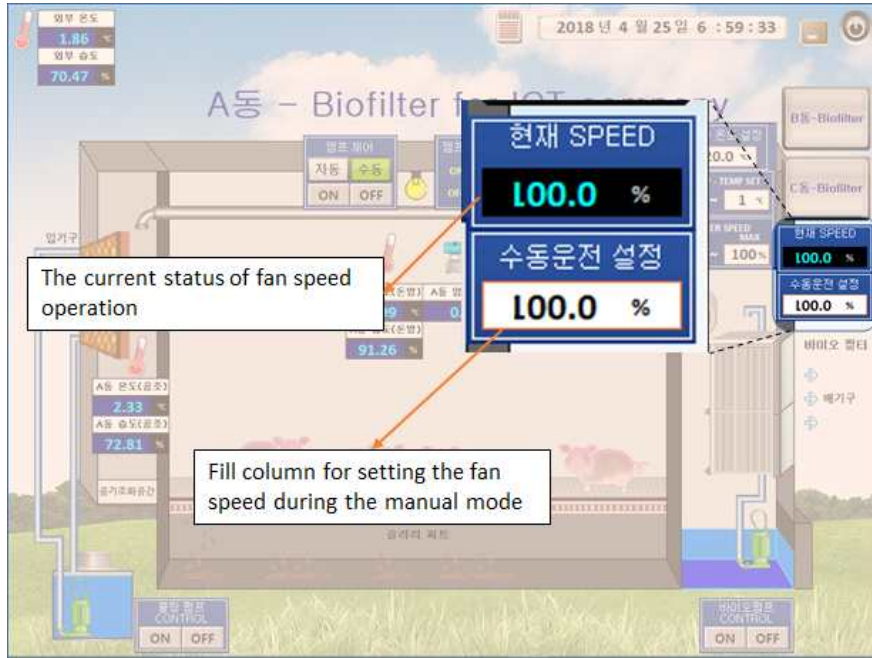


- [그림 3.55]는 주 사육실의 환기 팬 on/off 기능을 보여준다. 팬을 수동 또는 자동설정으로 설정할 수도 있다. 수동 설정은 운영자가 팬 속도를 특정 수준으로 설정하려고 할 때 사용된다. 자동설정은 운전자가 실내 온도를 특정 온도 수준으로 설정하려고 할 때 자동 설정이 사용되므로 팬 속도가 시스템에 의해 자동으로 조정된다



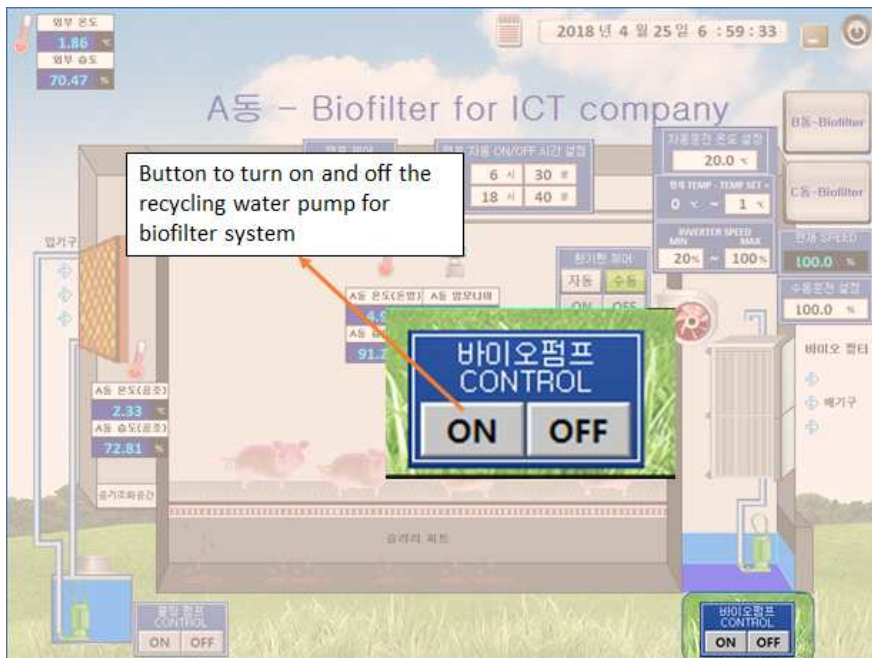
[그림 3.56] 사육실내 온도 자동제어를 위한 설계온도 설정 특성

- [그림 3.56]는 설계된 실내 온도를 설정하기 위한 창을 보여준다. 팬은 지정된 온도 설정에 따라 작동된다. 만일 실내 온도가 설정온도에 가까워지거나 설정온도보다 높아지면 공기 팬은 용량의 100 %로 작동된다. 반대로 온도가 설정온도 이하로 떨어지면 팬 속도가 100 % 이하로 느려진다.



[그림 3.57] 모형돈사A의 수동mode 설정특성

- [그림 3.57] 수동 모드로 지정된 팬 작동을 설정하는 기능을 보여준다. 수동 모드로 지정된 팬 작동을 설정하기 위해 칼럼입력 버튼을 누른 다음 필요한 팬 작동 비율(%)을 입력할 수 있다. 실제 실시간 팬 작동 비율(%)은 입력칸의 위 칸에 보여진다.



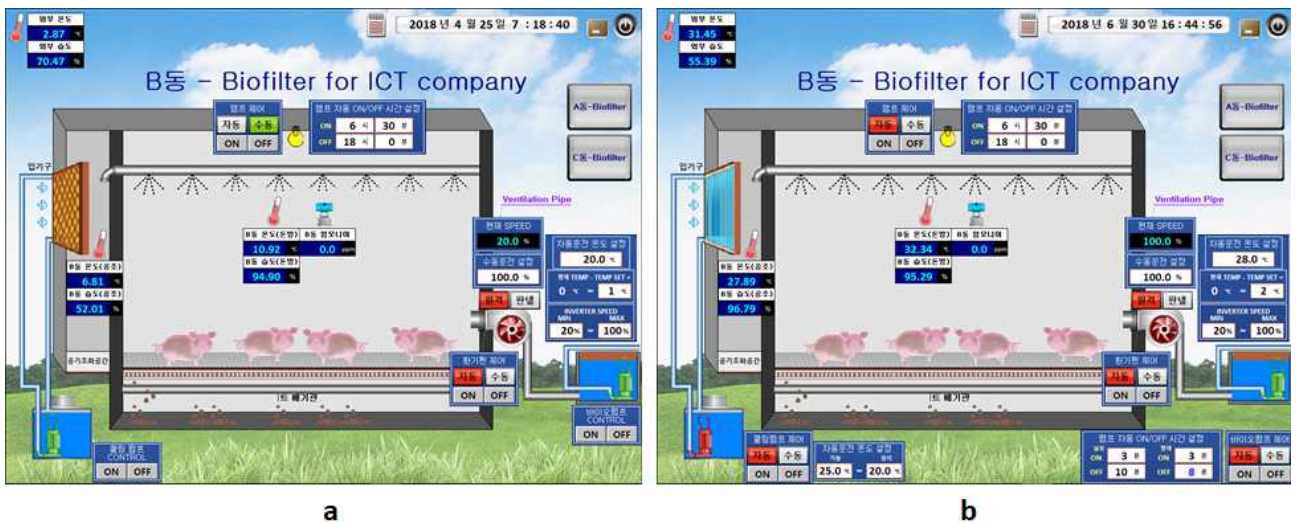
[그림 3.58] BF 재순환수 펌프제어 특성

○ 테스트 작동후 설정모드의 정밀도 뿐만아니라 사용자 친화적인 GUI의 품질을 향상시키기 위한 GUI의 수정이 필요했다. 쿨링패드와 바이오필터 시스템을 위한 재순환수의 제어수정이 진행되었다. 수정 후의 GUI (Graphical User Interface) [그림 3.59]~[그림 3.61]에 나타나 있다.



[그림 3.59] 모형돈사A의 BF제어 (a) 개보수전 (b)후

○ [그림 3.59] A형 돈사의 변경전(a)와 변경후(b)의 GUI를 보여준다. 수정은 냉각 패드 작동하는데 공급하기 위한 워터 펌프 작업을 설정하고 제어하는 기능에서 이루어졌다. 이것은 돈사의 증발 냉각 시스템의 작동에 필요하다. 유사한 수정이 B형 [그림 3.60] 및 C형 [그림 3.61] 돈사 각각에 수행되었다.



[그림 3.60] 모형돈사B의 BF제어 (a) 개보수 전 (b) 설치후

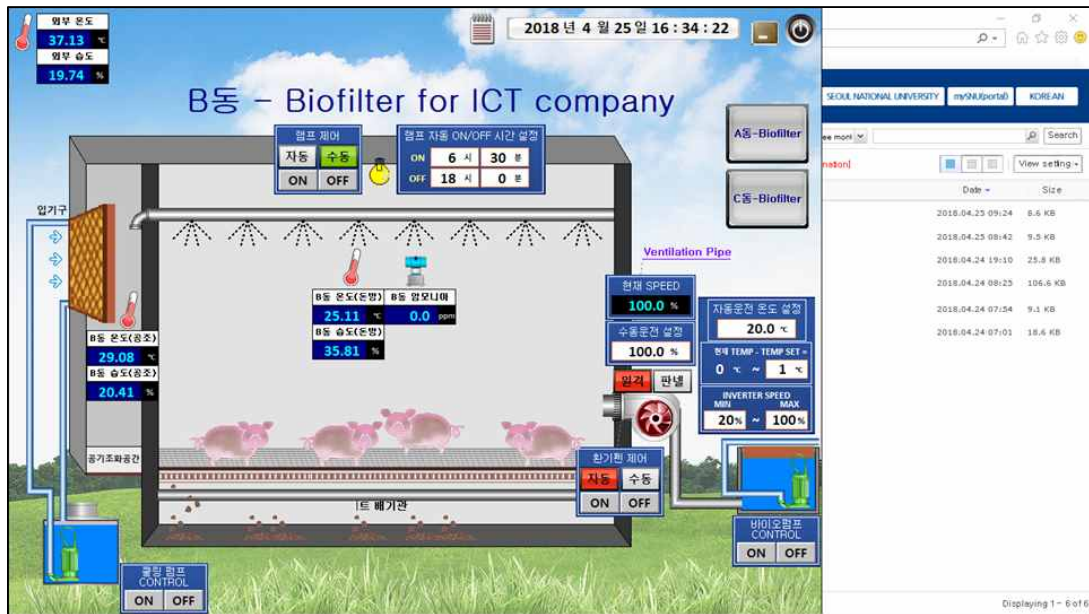
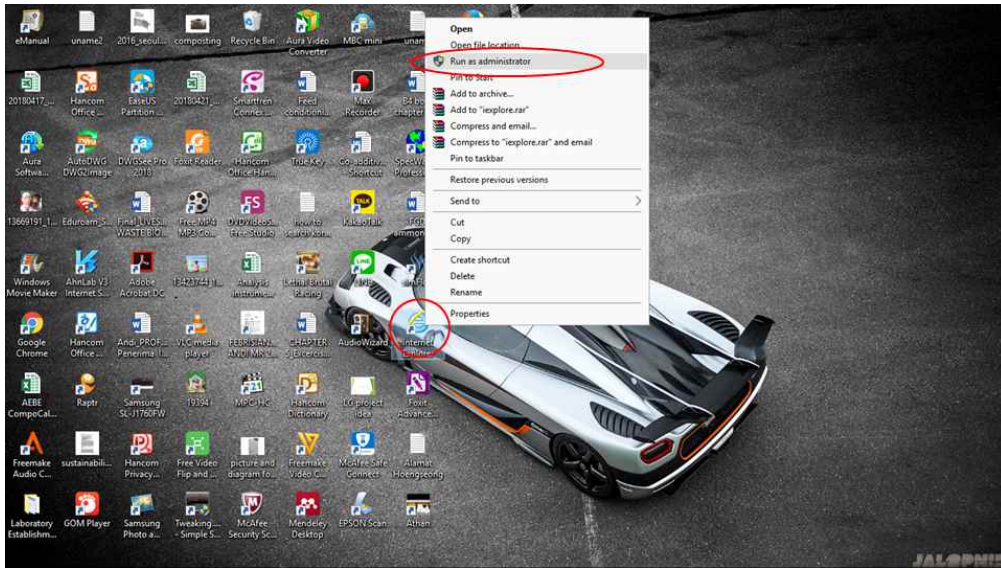


[그림 3.61] 모형돈사C의 BF제어 (a) 개보수 전 (b) 설치후

- 설정 개선에 따라 분 단위로 on/off 통해 순환 펌프의 교차 주파수를 적용할 수 있게 되었다. 냉각 패드 설정은 돈사 유입 공기온도를 낮추는 것이 목표이기 때문에 내부 온도 조건에 따라 설정이 개선되었다. 냉각 패드 시스템은 자동으로 활성화되도록 실내 온도를 설계온도로 설정할 수 있다. 예를 들어, 25 °C로 온도를 설정하려는 경우 돈사내부의 온도가 25°C에 도달하면 냉각 패드의 재활용수 시스템이 활성화 된다.
- 자동 설정 이외에 수동 설정 기능도 제공되므로 원하면 언제든지 냉각 패드 시스템을 끌 수 있다. 수동 설정으로 설정하려면 수동 버튼 옵션을 누른 다음 냉각 패드 시스템 작동 제어를 위해 켜기 또는 끄기 버튼을 작동시킬 수 있다. 유사한 세팅 모드는 세 가지 유형의 모형돈사 시스템([그림 3.59]~[그림 3.61]) 모두 이용 가능하다.

## (2) 돈사-바이오필터시스템관리의 원격제어

- 돈사의 바이오필터 시스템은 인터넷을 통해 노트북을 사용하여 원거리의 어느 곳에서든 원격 제어 가능하다. 다음 설명은 돈사의 바이오필터를 매일 원격조작 하는 방법을 설명한다.
  1. 인터넷 익스플로러 실행 (관리자로 수행)
  2. IP 주소 <http://192.168.0.4> 연결
  3. 이 단계에서 ID 코드와 암호를 입력하고 체크리스트 서버에서 모든 파일을 업데이트 한 다음 연결 클릭한다.
  4. Click 'OK'
  5. Load프로세스를 연결하면 'management view console' 이 나타난다



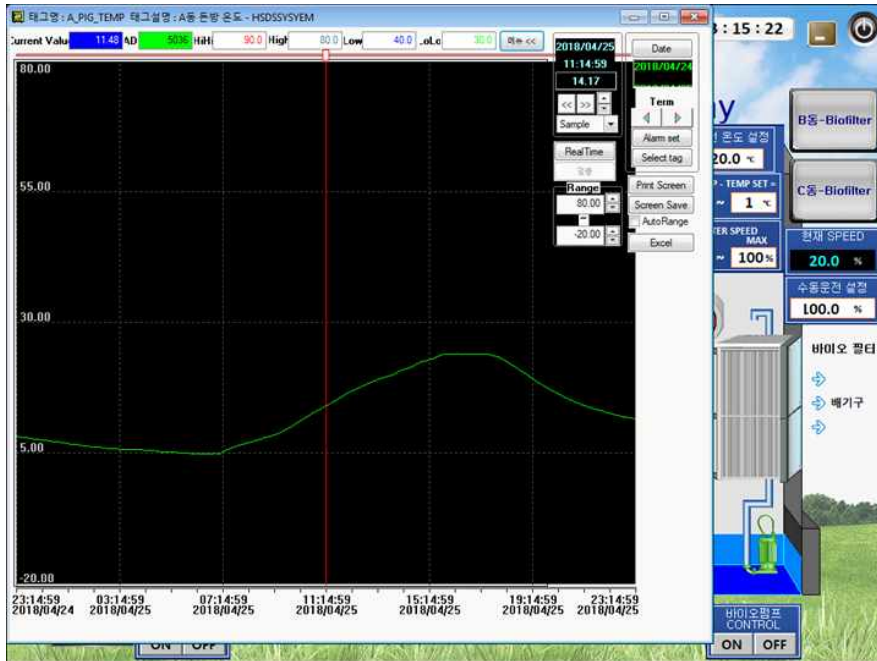
### (3) 자료화면구성

- 사용자는 돈사 바이오필터시스템의 전체 일일 환경상태를 평가해야 할 경우 몇 가지 원인을 통해 파악할 수 있다. 다음 단계에서는 그래프 형식으로 데이터를 보는 방법을 설명한다.
- Temperature data :
  - 가. 사용자가 현재 환경조건 메뉴를 cursor가 가리키고 마우스 포인터가 그래프 아이콘을 표시하면 버튼을 클릭한다. (온도\_그림.2.37)



[그림 3.62] 그래프 icon 표식 pointer

나. 매일 온도 데이터 그래프가 표시된다. (온도\_[그림 3.63])



[그림 3.63] 온도자료 그래프

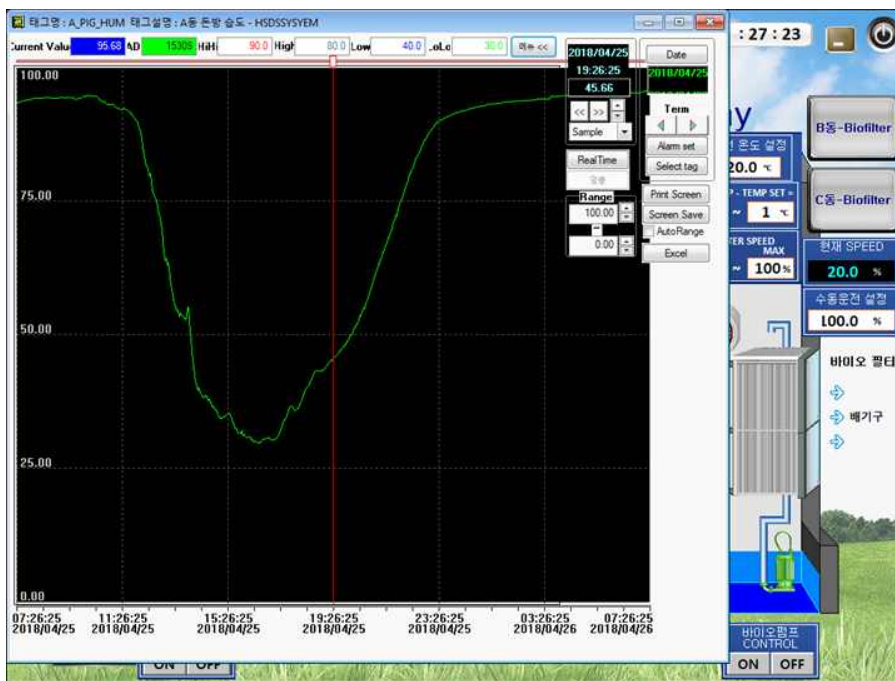
○ Humidity data(습도) :

가. 사용자가 현재 환경 (습도) 조건 메뉴를 가리키고, 마우스 포인터가 그래프 아이콘을 표시하면 버튼을 클릭한다.([그림 3.64])



[그림 3.64] 습도자료 그래프

나. 일일 습도 데이터의 그래프가 표시된다.([그림 3.65])



[그림 3.65] 일일 습도자료 그래프

○ Odor (ammonia) Data :

가. 사용자가 환경 (악취) 현재 조건 메뉴를 가리키고 마우스 포인터가 그래프 아이콘을 표시하면 버튼을 클릭한다.([그림 3.65])



[그림 3.65] 암모니아 자료 그래프

나. 일일 암모니아 그래프가 표시된다.([그림 3.66])

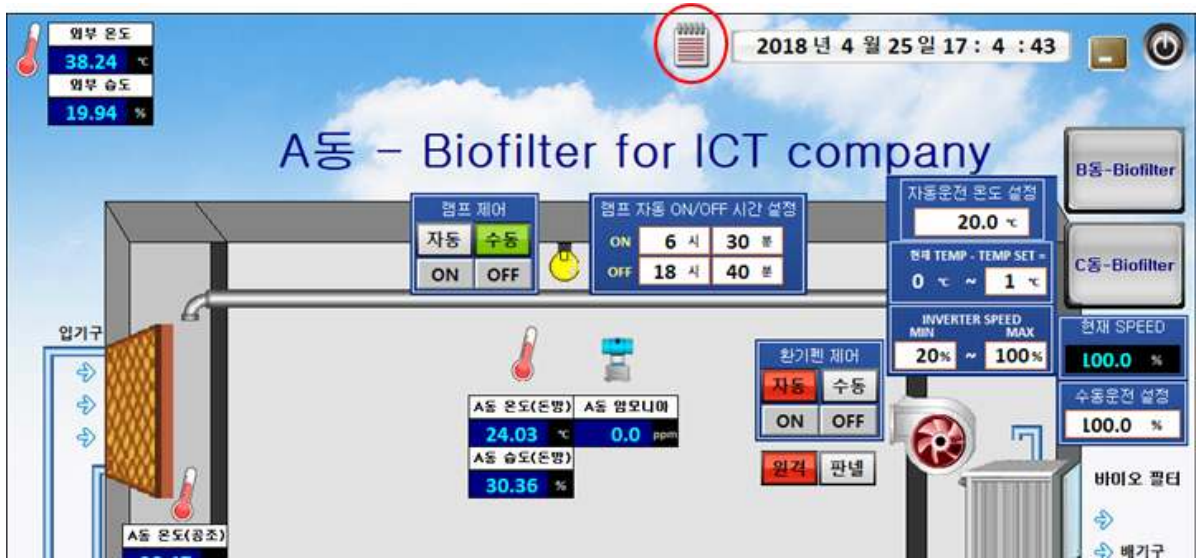


[그림 3.66] 일일 암모니아 그래프 창

(4) 기록자료 내려받기

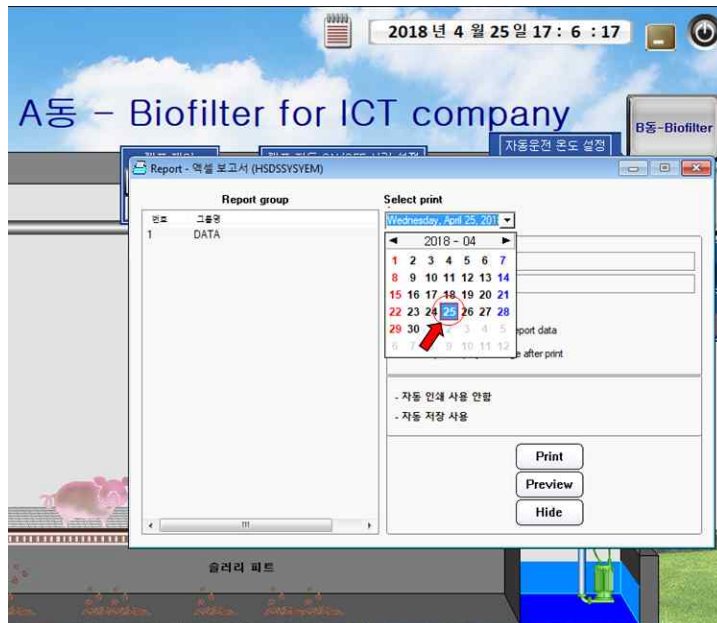


- 기본적으로 환경 조건의 데이터는 내부 하드 드라이브에 시간 간격으로 자동 저장된다. 어떤 목적으로든 사용자는 사이트 외부의 컴퓨터에서 데이터를 다운로드 할 수도 있다. 다음 단계에서는 사이트에서 기록된 데이터를 다운로드하는 방법에 대해 설명한다.
- 먼저 관리 consol에 확실하게 연결해야 한다. 그런 다음 관리 콘솔 페이지보기 상단에 있는 기록 데이터 액세스 버튼을 클릭할 수 있다.([그림 3.67])



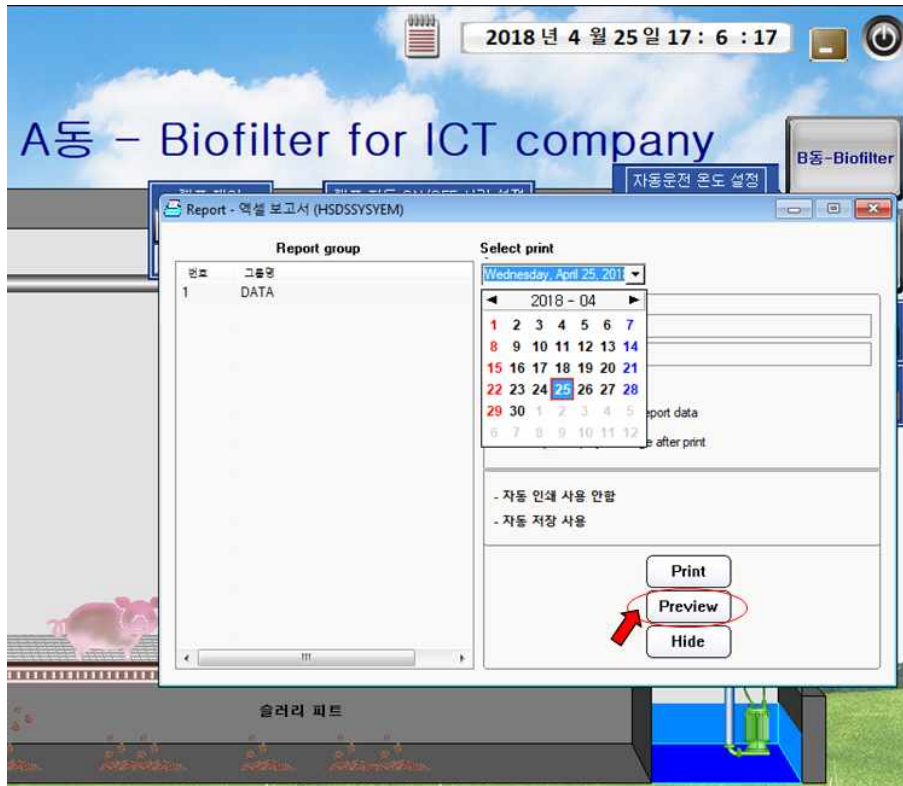
[그림 3.67] Downloading Data Point

- ○ 다운로드(download)할 데이터의 날짜를 선택한다([그림 3.68])



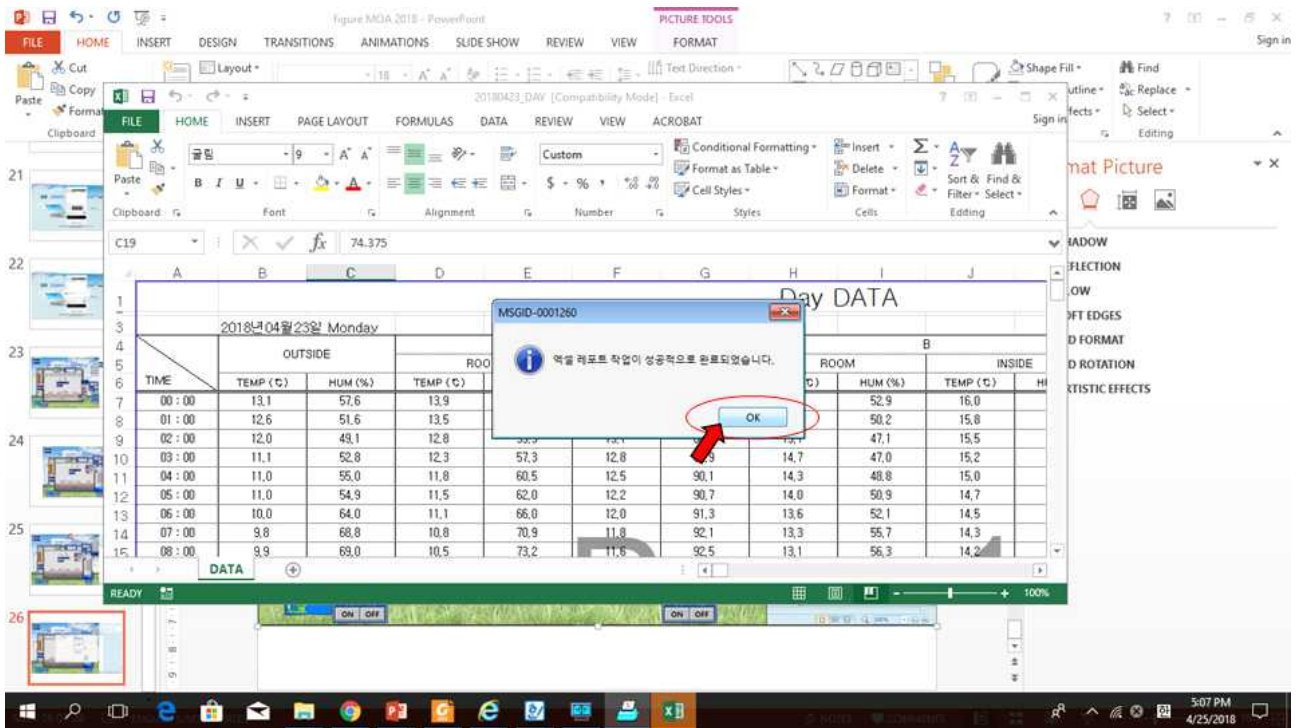
[그림 3.68] 데이터 선택 창(窓)

○ '미리보기' 클릭([그림 3.69])



[그림 3.69] '미리보기' 창

○ 화면에서 'OK' 을 클릭하면 데이터가 Excel 프로그램에서 '미리보기'를 볼 수 있다.



○ 데이터를 다운로드하려면 '미리보기'된 Excel 파일을 지정된 내장 하드 드라이브에 저장 한다.  
([그림 3.70])

20180423\_DAY [Compatibility Mode] - Excel

Day DATA

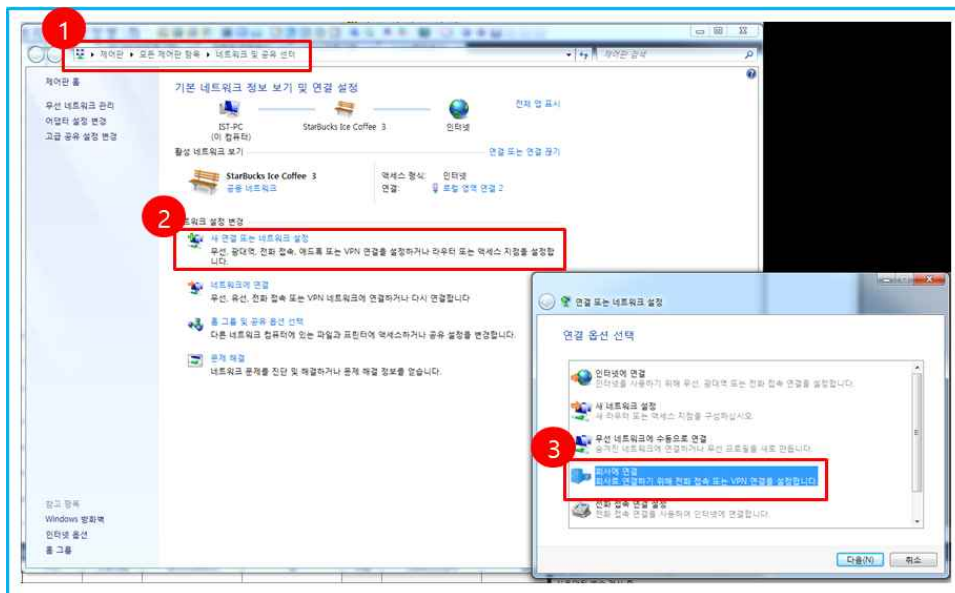
2018년 04월 23일 Monday

TIME	OUTSIDE		ROOM A				ROOM B				ROOM C		
	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	
00:00	13.1	57.6	13.9	63.0	13.7	79.4	16.0	52.9	16.0	89.2	12.7	68.4	14.7
01:00	12.6	51.6	13.5	60.0	13.4	83.6	15.6	50.2	15.8	90.3	12.3	61.3	14.3
02:00	12.0	49.1	12.8	55.9	13.1	86.0	15.1	47.1	15.5	90.9	11.6	56.5	13.8
03:00	11.1	52.0	12.3	57.3	12.8	87.9	14.7	47.0	15.2	91.8	11.1	59.6	13.2
04:00	11.0	55.0	11.8	60.5	12.5	90.1	14.3	48.8	15.0	92.2	10.7	62.8	12.7
05:00	11.0	54.9	11.5	62.0	12.2	90.7	14.0	50.9	14.7	92.9	10.6	63.0	12.4
06:00	10.0	64.0	11.1	66.0	12.0	91.3	13.6	52.1	14.5	93.4	10.1	68.0	12.1
07:00	9.8	68.8	10.8	70.9	11.8	92.1	13.3	55.7	14.3	93.9	9.7	72.9	11.6
08:00	9.9	69.0	10.5	73.2	11.6	92.5	13.1	56.3	14.2	94.4	9.4	74.2	11.4
09:00	9.8	70.3	10.6	74.9	11.5	93.1	13.0	57.5	14.1	94.5	9.4	76.0	11.2
10:00	10.1	72.4	10.6	76.2	11.4	93.3	13.1	59.8	13.8	94.9	9.6	78.1	11.1
11:00	10.2	73.2	10.7	76.8	11.4	93.5	13.1	60.6	13.8	95.2	9.6	78.9	11.1
12:00	10.8	74.4	11.0	77.9	11.5	93.7	13.2	61.8	13.7	95.3	9.9	79.5	11.1
13:00	11.8	72.9	11.6	78.1	11.7	93.8	13.6	62.8	14.0	95.2	10.4	79.9	11.4
14:00	12.8	71.7	12.3	79.1	11.9	93.2	14.0	63.9	14.1	95.1	11.1	80.4	11.8
15:00	12.9	71.9	12.7	78.4	12.2	92.9	13.0	65.2	14.2	94.9	11.6	80.6	12.3
16:00	12.7	72.7	12.9	78.3	12.4	92.5	12.7	68.4	14.3	94.9	11.9	80.7	12.6
17:00	12.0	75.2	12.7	78.2	12.4	92.6	12.6	68.8	13.9	92.0	11.6	80.3	12.8
18:00	11.4	75.8	12.4	78.2	12.3	93.2	12.3	68.3	13.6	91.7	11.1	80.1	12.6
19:00	11.1	77.6	12.1	78.4	12.1	93.2	12.1	69.7	13.4	91.7	10.9	80.5	12.4

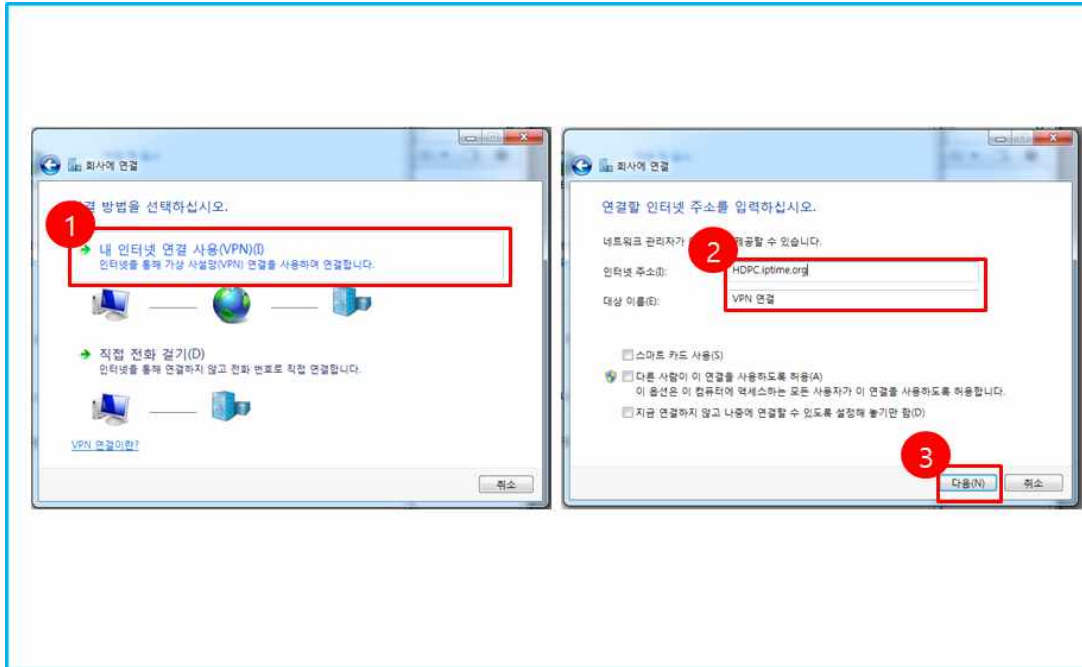
[그림 3.70] Excel Sheet 제어변수 경시적 자료

(5) 농장외부와 연결(원격연결방법)

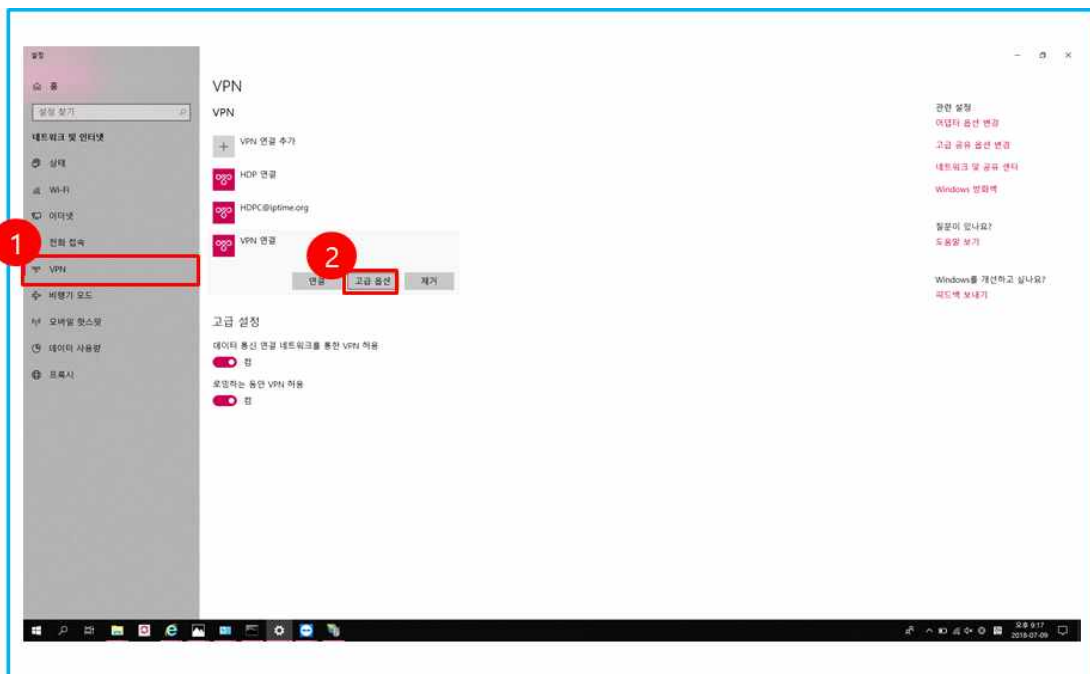
- 농장 밖에 있는 상황에서 특별한 이유로 농장의 데이터를 다운로드할 때가 있다. 이 때는 다음 방법을 따라야 한다.
- 아래 경로에 연결하고 새 연결 또는 '네트워크 설정'을 클릭한 다음 아래 창이 나타나면 농장에 연결을 클릭한다.



- 인터넷 연결 사용을 클릭하십시오. 인터넷 주소 (HDPC.iptime.org)와 목적지명을 입력한 후 '다음' 버튼을 클릭 한다.



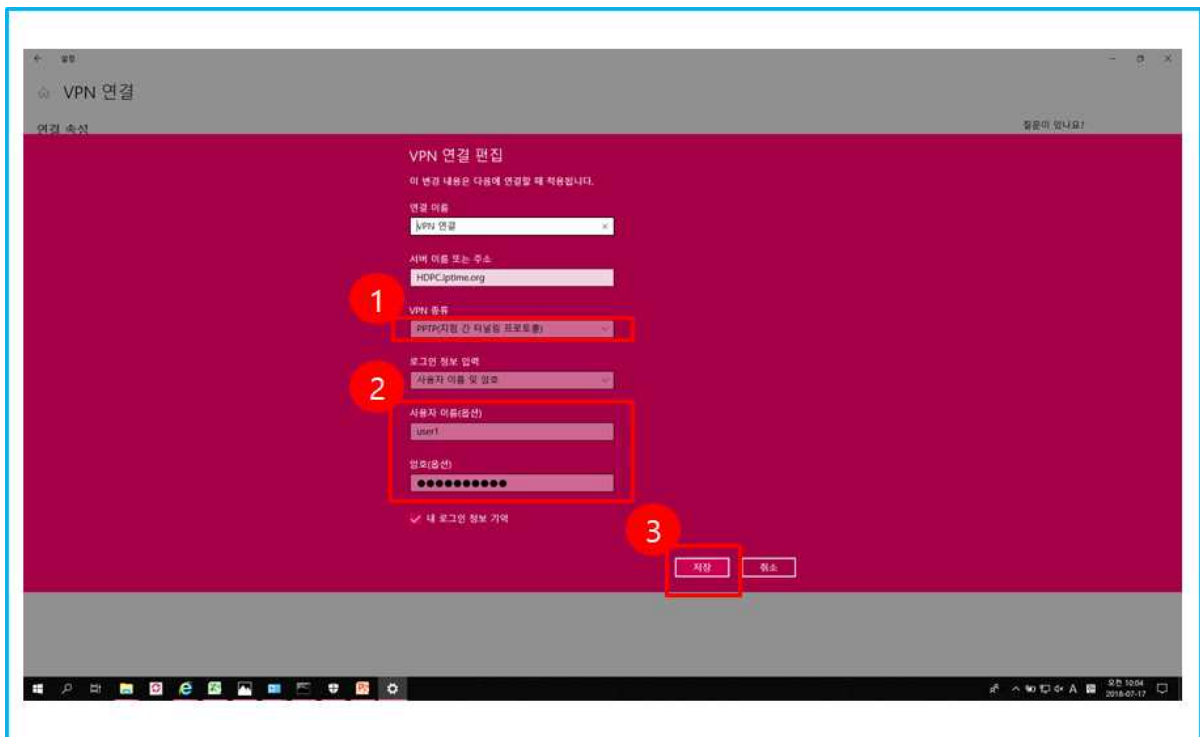
- Windows 설정한 후 VPN 항목을 클릭하여 새로 생성된 VPN 창에서 '고급 옵션'을 선택한다.



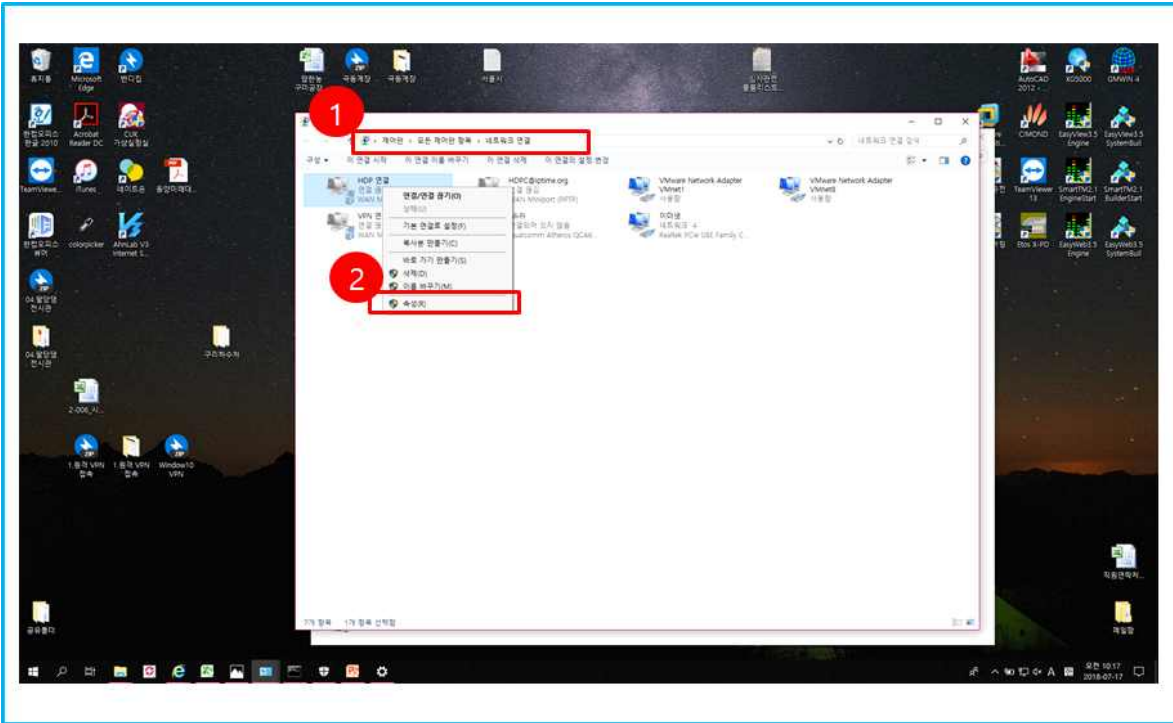
- 연결창에서 'Edit'를 클릭한다)



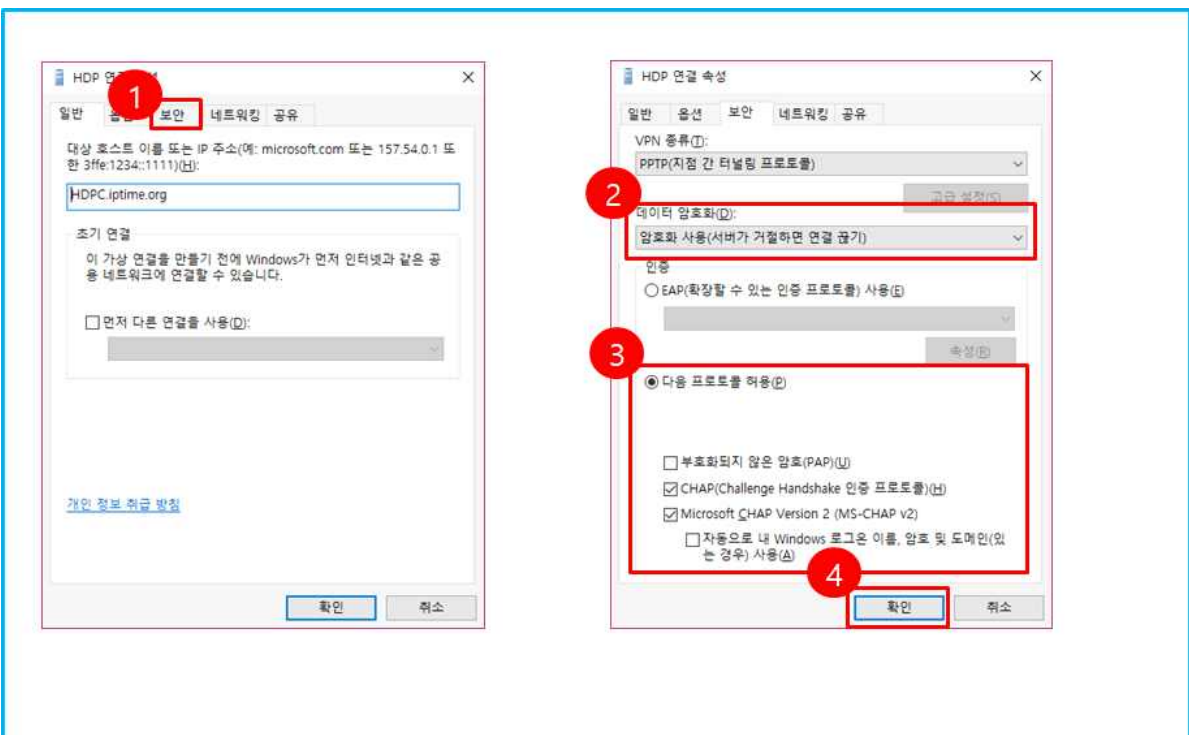
○ VPN 유형을 PPTP로 설정한다. 사용자명과 암호입력(ID : user1 PW : admin). 한 다음 '저장'을 클릭 한다.



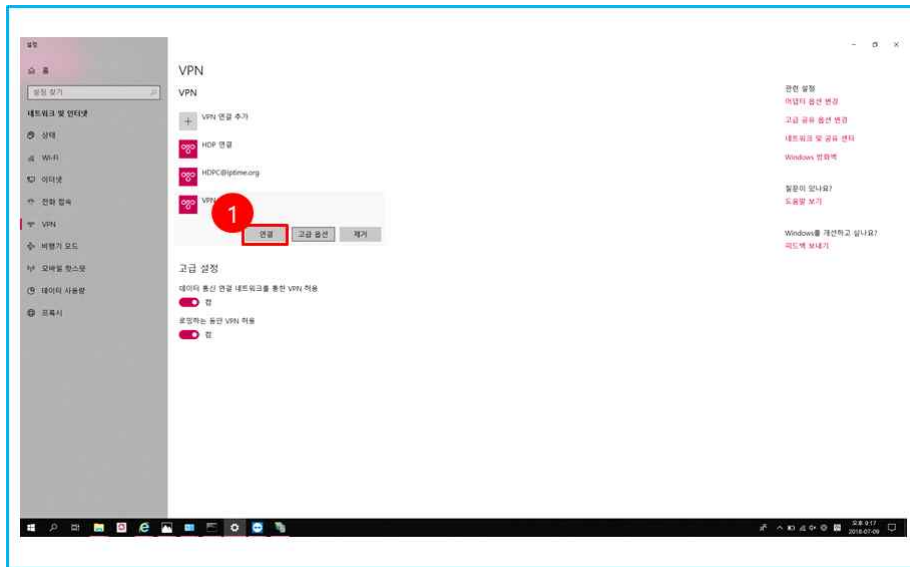
○ 위 경로에 연결한 후 네트워크에서 새로 생성된 이름을 마우스 오른쪽 단추로 클릭하고 속성을 클릭한다.



○ 보안탭을 클릭한 후 데이터 암호화로 설정한다. (서버가 거절되면 연결 해제). 다음 프로토콜 허용을 클릭한 다음, 위와 같이 확인한다.



○ VPN 연결을 설정하고 마지막으로 인터넷 주소를 입력하면 연결할 수 있다.



### 3. 모형돈사 종별(환기+BF)시스템 성능평가 및 실험(1차 실험)

- 현재까지 춥고 건조한 겨울과 덥고 습한 여름이 있는 우리나라의 특수한 기상 조건을 반영하지 못한 돈사 시스템이 공급 되었으며 (송 외, 2013) 가축 사육과정에서 배출되는 오염원이 주변 환경을 악화시켜 정주민의 민원의 대상이 되고 있다.
- 본 연구에서 배출 오염원을 줄이면서 돼지 성장 제고(提高)를 위한 돈사 개발을 위해 바이오필터시스템의 유형에 따른 성능을 평가하고자 다음 실험을 설계하였다. [표 3.9]은 본 연구에서 수행한 실험을 요약한 것으로 실험돈사에는 7가지 조건이 있으며 내부 돈사상태에 대한 처리효과가 다름을 관찰하였다.

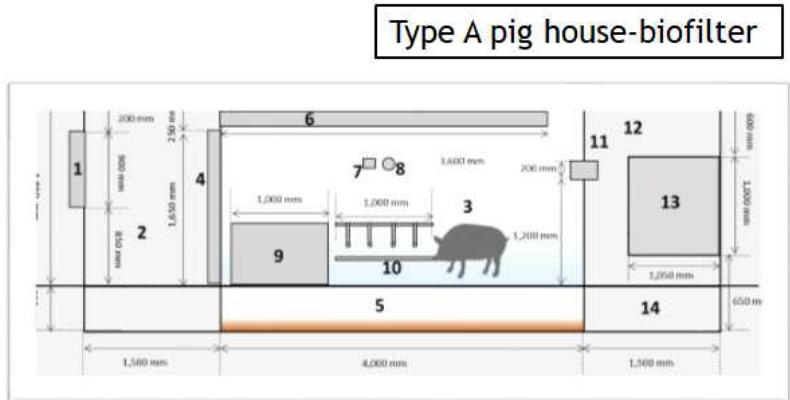
[표 3.9] 모형돈사-바이오필터모형의 실험설계

Condition 조건	돈사 종별(種別) Container type		
	A	B	C
Bedding system	Slatted/pit slurry	Slatted/pit slurry	Sawdust bedding
Ventilation	Diluted/wall ventilation	Nondiluted/pit ventilation	Diluted/wall ventilation
Odor abatemen multi-microbes additives	No	Yes (spray room)	Yes (sawdust bedding)
Treated wastewater circulation	Yes	Yes	No
Biofilter	Vertical Biofilter system (VBF)	Horizontal underground Biofilter system (HBF)	Hybrid Biofilter system (HyBF)
Natural light system Inlet ventilation duct	No Rectangular	Yes Half circular	Yes Circular

(1) ICT적용 A형돈사-BF 성적평가

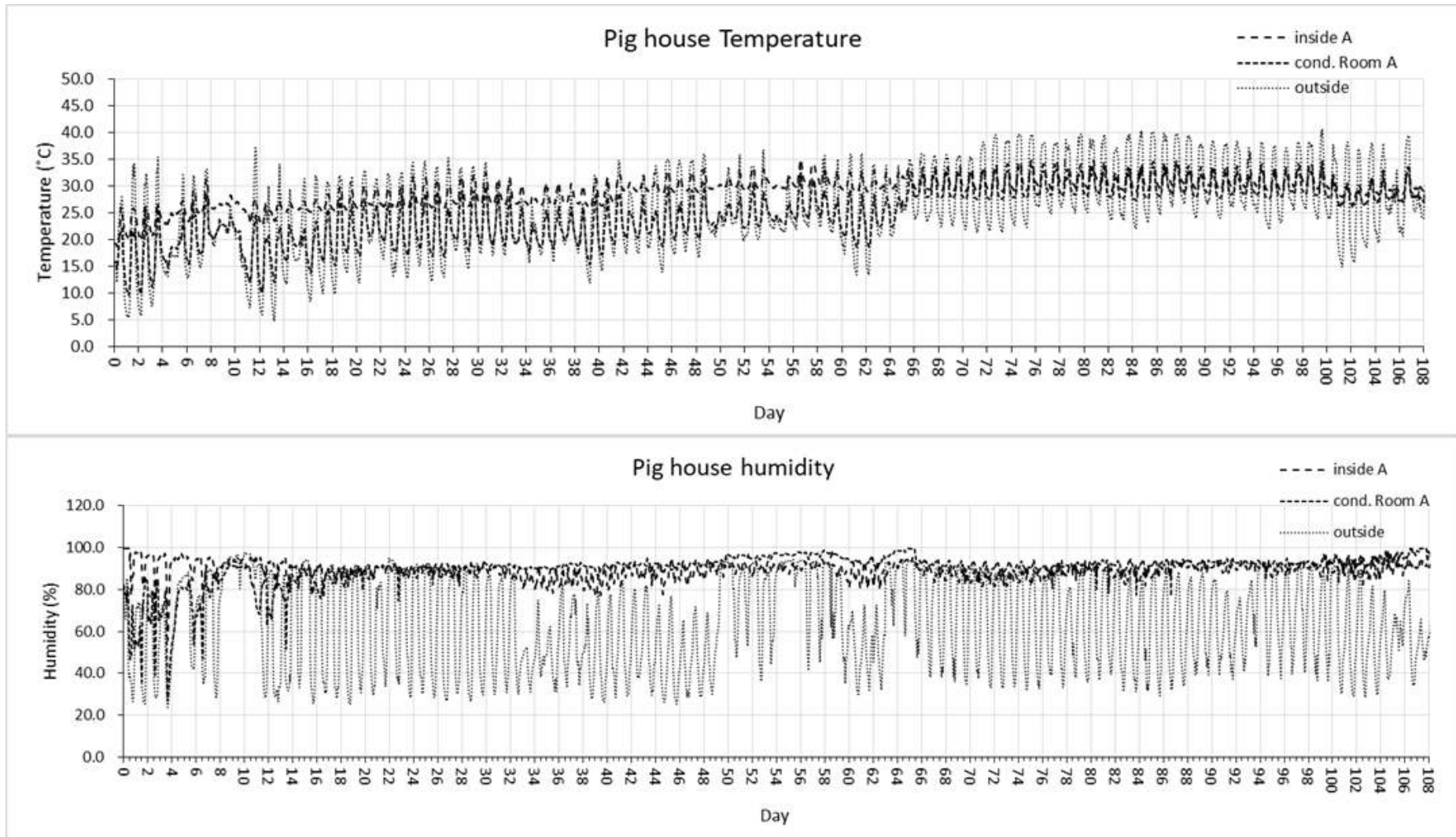
- [그림 3.71]은 모형돈사A - 바이오필터(BF) 시스템의 실상을 나타낸다. 초기 입식돼지의 평균 체중은 25kg 이며 각 돈사에는 총 돼지 약 9마리가 사육되었다. 본 실험은 늦은 봄부터 혹서기 여름에 수행되었다(5.8~8.26).
- ICT시스템에서 돼지 사육실의 당시 설계온도는 28℃로서, 허용범위는 ±2℃로 설정하였다. 따라서 냉각 시스템 및 환기시스템과 관련된 모든 장치의 작동을 조절하여 온도를 설정수준에 맞게 유지되도록 조절하였다. 허용 온도범위가 ±2℃로 설정되어 내부 온도가 2 ° C 이상이나 이하가 될 경우 공기 팬이 저속 또는 고속으로 작동하여 목표 온도를 유지 하게 된다.
- 분석결과, 내부 환경 조건을 유지하기 위해 적용한 ICT 시스템이 잘 작동하고 있음을 확인 하였다.

Category	Description
Pig number (head)	9
Male (head)	5
Female (head)	4
Average body weight (kg)	25



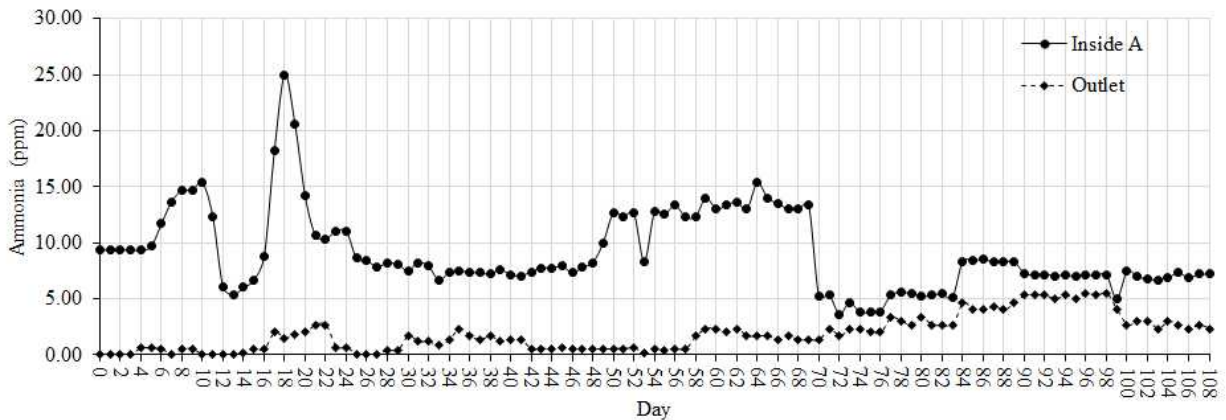
[그림 3.71] 모형돈사A 시스템





[그림 3.72] 모형돈사A (a) 온도 (b) 습도 경시적 변화

- [그림 3.72]는 모형돈사A 온도 및 상대습도의 일일 변화를 경시적으로 나타낸다. 실험 기간은 늦은 봄부터 여름까지 진행되었다. [그림 3.72]에서 돈사외부의 온도조건이 변동하고 있음에도 돈사내부의 온도를 25~32℃ 범위를 유지하였다. 여름철의 환기 시스템은 습도 유지를 위한 겨울철 환기시스템과는 달리 열균형을 유지하도록 설계되어야 한다. 마찬가지로 여름철에는 환기 시스템에 의한 적절한 열 제거(Schauberger et al., 2000) 중요하다.
- 여름철 실험 중 모형돈사A 습도변화는 [그림 3.72]b에 주어져 있다. 분석결과, 돈사A 내부 습도범위는 약 80~98 %이었다. 이는 돼지가 편안하게 느끼는 습도수준 약 70 % 보다 높다. 이러한 상황은 여름철 높은 습도조건으로 인해 발생했으며, 건조실의 증발 냉각시스템을 거쳐 습윤한 공기가 사육실로 유입되어 습도가 거의 포화상태로 나타났다.



[그림 3.73] 모형돈사A 지점별 (실내, 실외) 암모니아농도 경시적 변화

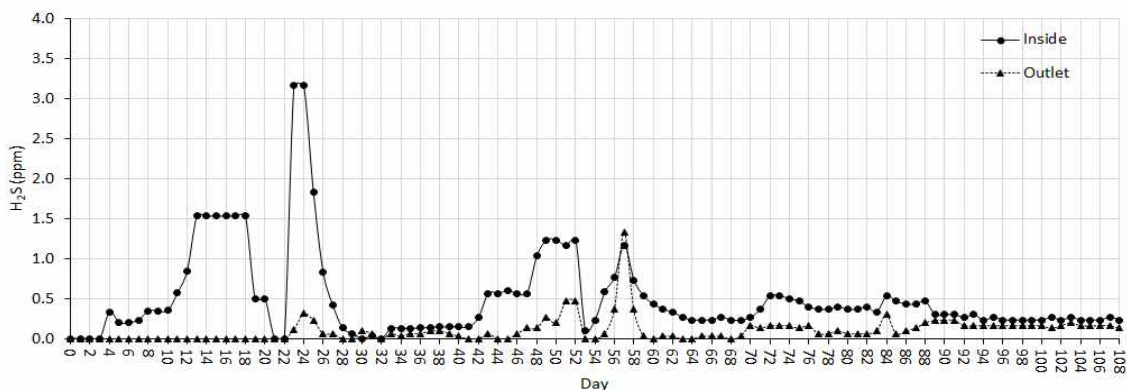
- 암모니아 센서 검출수준 범위는 0~75ppm이지만, 현장 테스트 적용 후에는 센서가 제대로 작동하지 않았다. 가스 튜브 테스트 방법과 비교할 때 센서가 정확한 암모니아 농도를 감지하지 못하였다. 센서의 판독 값은 가스 튜브 테스트(Gastec) 결과보다 훨씬 낮았다. 따라서 본 연구에서 센서 판독 값의 범위가 너무 크다 판단하여, 암모니아 센서 탐지 범위를 0~30ppm으로 수정하였다.
- 모형돈사A 사육실 암모니아 농도 변화는 [그림 3.73]에 주어져 있다. 돈사내부의 암모니아 농도 범위는 3.5~25ppm 관찰되었다. 암모니아 수준은 20일에 가장 높은 25ppm에 도달했다. 더운 여름에 접어들 때 가장 마지막 단계보다 환기율이 떨어지는 것과 연관성이 있을 수 있다. 환기 시스템은 설정 온도를 목표로 조절되다보니 해당 환기율로는 암모니아 약취를 희석하는 데 충분하지 못했다. 마지막 단계 30일 동안은 bubble jet수 분무 처리로 인해 암모니아 농도가 낮게 관찰되었다. 사육실 살포수는 암모니아 약취 화합물을 H<sub>2</sub>O와 반응시켜 NH<sub>3</sub> 가 액체 상태의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>로 전환된 것으로 보인다.물론 BF후 암모니아농도는 거의 5ppm

이하로 민원의 소지는 없었다.

- 모형돈사A의 평균 휘발성 유기산(VFA) 약취농도는 [표 3.10]과 같다. 모형돈사 A의 휘발성 지방산 약취 화합물 농도는 약 869.02 ppbv로서 주종(主種)을 이루며, 두 번째 약취화합물은 약 14.42ppbv인 황산 화합물이며, 페놀약취는 약 0.86 ppbv으로 가장 낮았다. 바이오 필터 시스템 이후, 전체 휘발성 유기산 약취농도 유의적으로 감소하여 884.29ppbv에서 43.67 ppbv ( $p < 0.05$ )로 삭감율은 약 95 % 에 이르렀다.

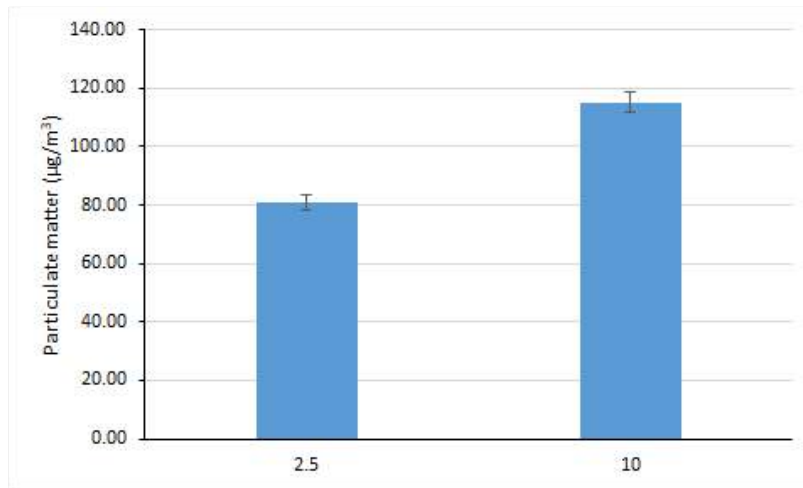
[표 3.10] 모형돈사A VOC약취농도 지점별분석결과

VOA odor	A <sub>in</sub> (실내)	A <sub>out</sub> (실외)
AA	87.32	34.75
PA	29.12	0.97
ABA	2.12	0.09
BA	15.44	1.00
VA	5.66	0.37
VA	729.36	4.15
p-CRESOL	0.00	0.00
INDOLE	0.86	0.43
SKATOLE	0.00	0.00
MM	0.00	0.00
DMS	13.28	1.83
DMDS	1.14	0.08
Total VFA	869.02	41.32
Total Phenol	0.86	0.43
Total Sulfuric	14.42	1.92
Total VOA	884.29	43.67



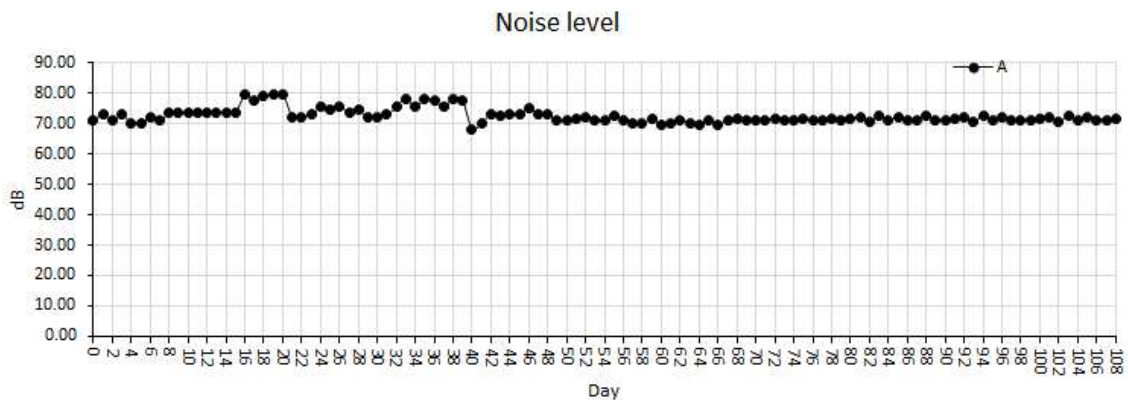
[그림 3.74] 모형돈사 A의 황화수소 경시적 변화

- 실험 기간 동안의 모형돈사A 내부의 평균 일일 황화수소의 변화는 [그림 3.74]와 같다. 사육실 내부의 황화수소 농도는 0~3.17ppm 범위로 관찰되었다. 24~26 일에 황화수소 농도가 가장 높게 관찰되었다. 그러나 바이오 필터 시스템 가동 이후 황화수소 농도는 0 ~ 0.2ppm 수준의 평균 수준으로 떨어졌다. 모형돈사A 외부로 방출되는 H2S 농도를 감소시키는 것으로 관찰되었다. 돈사 내부의 높은 H2S 농도는 돈사 내부의 환기율이 충분히 크지 않은 때문일 가능성이 크다. H2S는 대개 혐기성 조건에서 발생되기 때문이다.



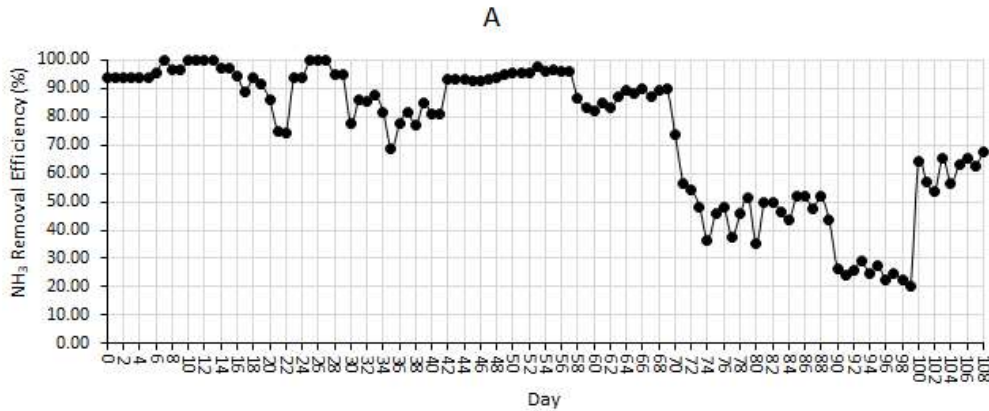
[그림 3.75] 모형돈사A 먼지입자농도 경시적 변화

- 사료, 피부 탈락편, 깔개재 및 건조 분 (Maghirang et al., 1995)에서 생성된 미립자는 비강 및 호흡기에 축적되어 폐 조직에 손상을 줄 수 있다 (Carpenter, 1986). 모형돈사 A 돈사내의 미립자물질 농도는 [그림 3.75]에 제시되어 있다. 분석결과, 모형돈사A 평균 PM2.5 농도는  $80.83\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10은  $115.25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM10이 높게 나타났다. 돈방 미립먼지가 자돈에 미치는 영향은 매우 심각하다. 미립자 물질 (PM), 공기 중 세균 및 약취 혼합물이며, 이는 사양 및 축사구조와 연관성이 있다 (Cole et al., 2000)



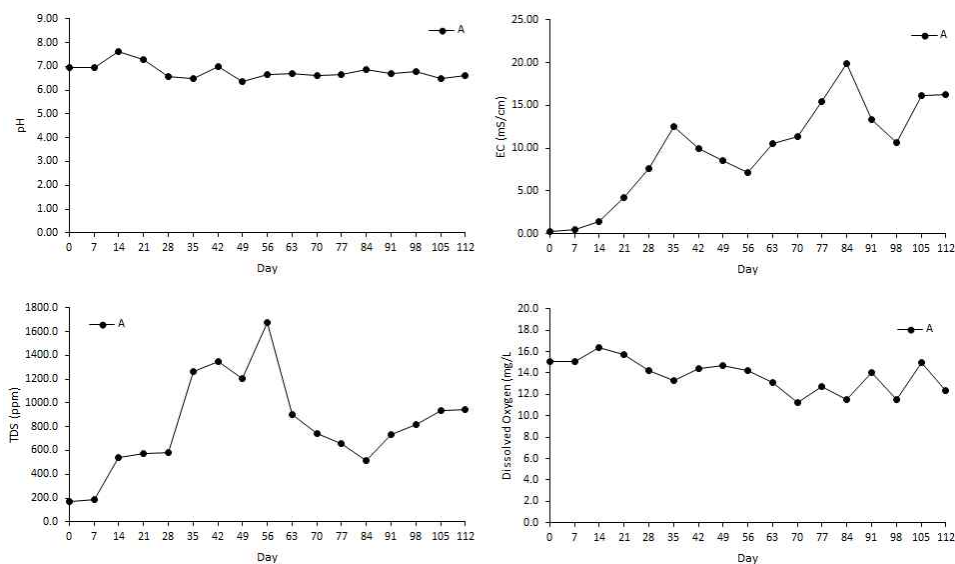
[그림 3.76] 모형돈사A 먼지입자 농도 경시적 변화

- 실험 중 모형돈사A 내부 소음수준 [그림 3.76]과 같다. 분석결과 소음수준 약 68.30~79.70dB 범위로서 양호한 수준이었다.



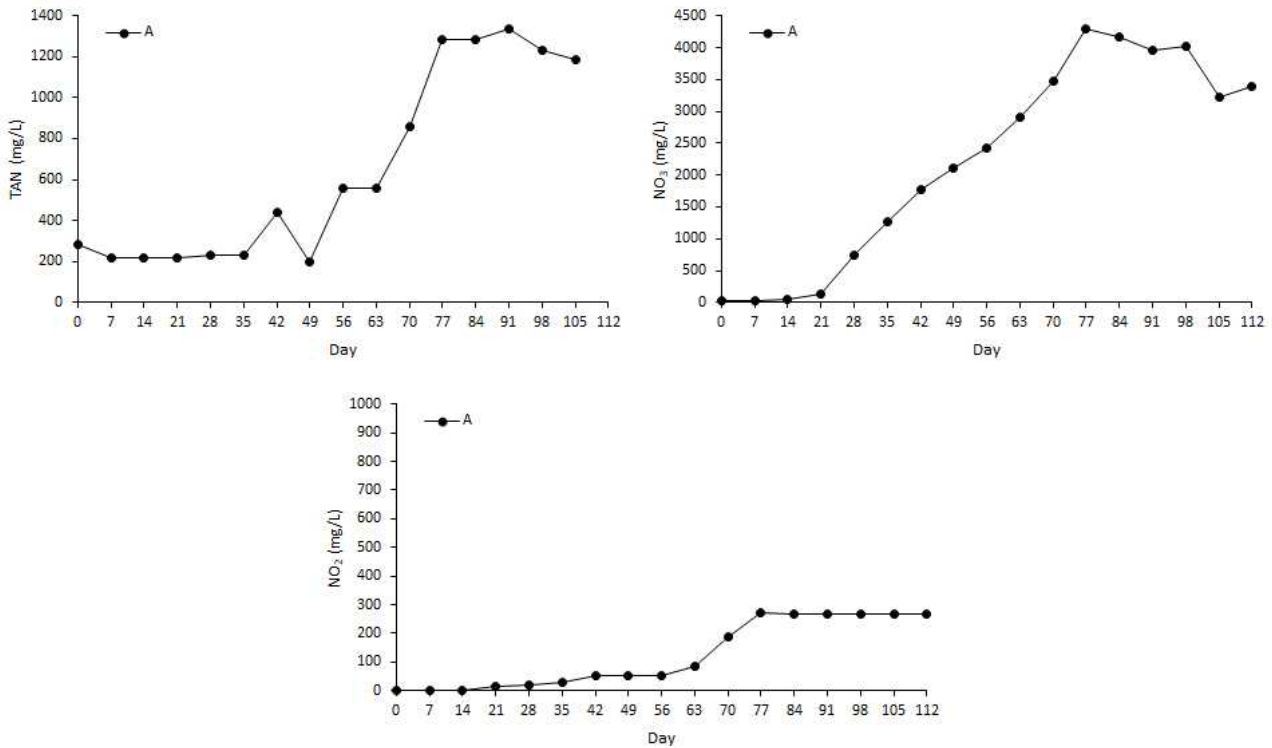
[그림 3.77] 실내 암모니아 농도-바이오필터 후 암모니아 삭감율

- 실험 기간 동안 모형돈사A 바이오필터 후 일일 평균 암모니아 삭감효율은 [그림 3.77]과 같다. 실험 기간 동안 바이오 필터의 효율은 점감(漸減)되었다. 암모니아 저감 효율은 실험 초기 약 100 %이었으나 실험30일에는 약 68 % 수준으로 감소하였다. 실험42일에는 다시 효율이 증가하였다. 이것은 바이오 필터 재순환 MBR물의 변화로 때문인 것으로 예측된다. 일정시간 작동 후 재순환수가 암모니아로 포화상태가 되면 삭감효율이 떨어진다. 따라서 이 단계에서 재순환수를 교체해야 한다. 본 연구에서는 순환수 교체 기간을 1.5 개월로 하였다. 물론 재순환 조건이 다른 경우 영향인자를 고려하여 교체 기간을 전해야 한다.



[그림 3.78] 모형돈사 피트 재순환수 경시적 이화학적 특성

○ 실험 중 모형돈사A 피트 재순환수의 물리화학적 특성은 [그림 3.78]과 같다. 재순환수의 pH는 6.5~8.0 분석되었다. EC는 경시적으로 증가하였으며 최대 EC는 약 20mS/cm에 이르렀다. EC의 점진적인 증가는 실험 기간 동안 최대 1,600ppm에 도달한 TDS 증가로 때문으로 이해된다. MBR 재순환수의 용존 산소율(DO)은 11.22~16.34 mg/L 범위이었다.



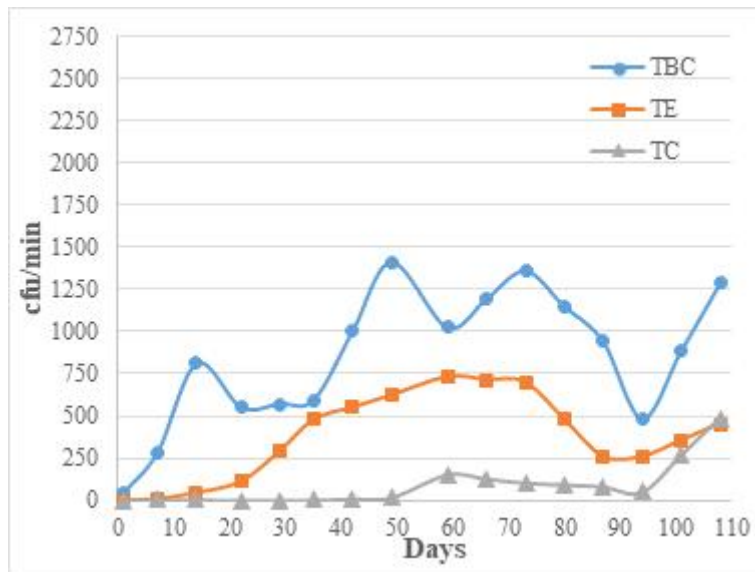
[그림 3.79] 모형돈사A 바이오필터 재순환수의 질소 분율 변화

○ 실험 중 모형돈사A시스템-바이오필터시스템에 대한 질소분율은 [그림 3.79]와 같다. 재순환수의 총 암모니아 질소는 돼지 성장에 따라 증가하였다. 가스상태 암모니아가 재순환수에 흡수때문으로 이해된다. 재활용수 중의 TAN 농도는 실험98일 1,333 mg/L로 가장 높게 나타났다.

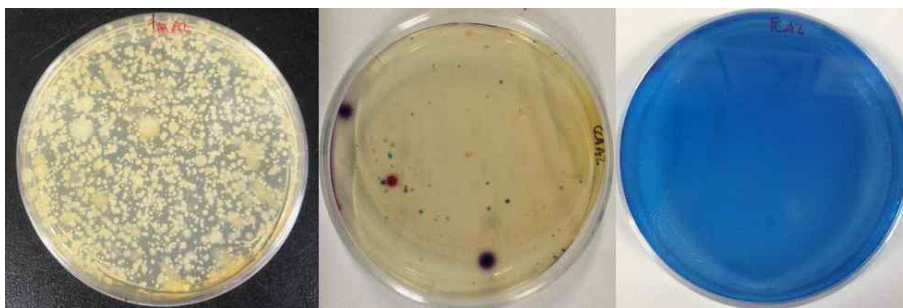
○ 본 실험에서 TAN은 재활용 MBR수에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 축적에 된 것으로 예상된다(그림3.9). NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도는 서서히 증가하여 실험77일 4,000mg/L에 도달하였다 서서히 감소하여 실험종료일 112일에는 3,000mg/L 수준으로 감소하였다. 이것은 재순환 MBR수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 뿐만 아니라 TAN의 고농축 효과에 의한 질산화 과정 저해(沮害)에 의해 발생된 것으로 판단된다. 이러한 조건은 질화(窒化) 박테리아(*nitrifier*)가 아질산염(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)을 질산염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)으로 전환시키는 것을 억제한다. 이는 처리 재순환수의 아질산염 농도가 증가하여 약 300 mg/L에 이를 때도 이러한 현상이 나타났다.

○ Aerial microbes (부유세균) :

가. 실험은 총 박테리아 (TBC\_Total Bacteria Count), 총 대장균 (TE\_Total Ecoli) 및 총 분변균 (TC\_Total Fecal Coliform)과 같은 부유 세균을 분석하여 공기 질 및 환기 효율을 검증하였다. 공기 중 세균은 표준 페트리 접시 (90 ~ 15 mm, SPL Life Sciences, Pochun-si)를 사용하여 plate settling 방법을 사용하여 측정하였으며, TBC의 열거를 위해 Tryptic soy agar (Merck) 배지를 사용 하였다. Chromocult Coliformen agar (Total Merck)를 대장균 (Total E. coli, TE)에 사용하였고 MFC 한천을 분변 대장균 (TC)의 계수에 사용하였다. 샘플링 후 실험실에 옮겨 37 °C에서 24 시간 동안 배양 후 TBC를 확인하였고 TC 및 TE는 대해 48 시간 동안 배양 후 확인하였다. 균총(colony ) 분당 침하 콜로니 수를 계수(計數)하였다.



[그림 3.80] 모형돈사A 사육실 부유세균 경시적 농도



[그림 3.81] 모형돈사A 사육실 부유세균 (좌) TBC (중) TE (우) TC

나. [그림 3.80]은 매주 공기 중 세균수가 전반적으로 증가함을 보인다. 그러나 실험21일~실험35일 환기 시스템의 교체(환기율 제고) 때문에 TBC 감소하였다. 또한 피트의 슬러리는 공기중 세균의 공급원으로 판단되며, 피트슬러리는 처리시스템으로 회수되어 재순환되었다. TBC수는 실험35일~실험84일 등락은 있지만 전반적으로 증가추세이었다. 모형돈사A내 사육실 온도를 낮추기 위해 실험84일부터 스파클링(sparkling) 시스템을 가동하였다. 스파클링 후 일시적으로 실험일 94일에 공기중 부유 미생물이 감소되었으나 실험일 94일 이후에는 세균수가 현저히 증가하였다. 바이오 필터시스템에서 최대 TBC수는 1,412 cfu/min으로 분석되었다.

다. 돼지 활동이 증가함에 따라 공기 중 미생물이 증가하고, 슬러리 양도 많아졌다. 처음(실험1일)에는 거의 공기 중 미생물이 존재하지 않았다. 실험14일 공기 중 미생물이 실험1일과 비교하여 현저히 증가하였다. 실험49일에도 공기 중 미생물은 실험14일보다 거의 두 배나 높았다. 모형돈사A 공기 중 세균은 줄어들지 않았으며, 이는 돼지 성장으로 인한 슬러리 생산량 증가 때문이거나, 처리수 피트 슬러리 혼합으로 부유 세균이 상상부 공기 중으로 확산 때문일 수도 있다.

라. 공기 중 TE와 TC 양이 다른 배지를 사용하기 때문에 그 수가 서로 다를 수 있다. 대장균(*E. coli*)은 대장균 세균의 예(例)이고 TC는 분변성 대장균이다. 그러므로 TC와 TE 양은 비슷하거나 거의가 없어야 한다. 이 경우 TE는 대장균이 분변에서 왔다가보다는 주변 환경에 자생한 토착 대장균으로 여겨진다.

마. 모형돈사A 공기 중 미생물이 관찰되었으며, 세균수는 총 박테리아(TBC)에 이어 대장균(TE), 총 분변균(TC) 순(順)으로 분석되었다. TBC는 TE 및 TC, 기타 공기 중 미생물로 구성되며 그 수는 TE 및 TC 보다 현저히 높다. 돈사에 존재하는 공기 중 미생물은 돼지 분변, 사료 및 식수의 토착 미생물, 돼지 피부 탈락편에 부착, 바닥재와 축사관리인에게서 유래될 수 있다.

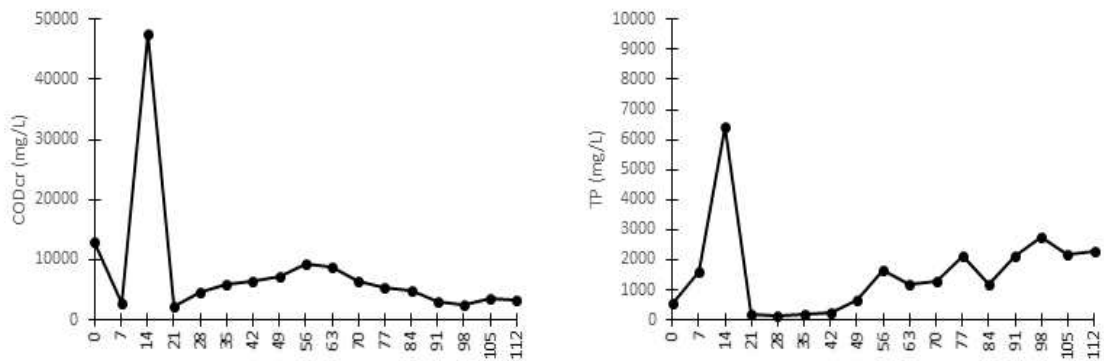
#### ○ 모형돈사A 돈슬러리 (Swine slurry) :

가. [그림 3.82]에서 볼 수 있듯이, 모형돈사A 돼지 슬러리의 pH는 7~8로 중성이었다. 반면, 그 실험기간 동안 돼지 슬러리가 증가하고 영양성분 함량도 증가하여 EC를 검증시키는 결과를 가져왔다. 용존산소(DO) 농도가 매우 낮아서 혐기성 조건이 되었으며, 돼지 배설물에는 유기물, 영양소 그리고 미생물이 포함되어 있다. 미생물은 돼지 배설물의 유기물과 영양소를 분해한다. 분해 과정에서 산소를 사용하게 되어 돼지 슬러리피트 내의 산소



함량이 감소되는데 이때 피트슬러리를 혐기성 상태로 만든다.

나. 슬러리피트의 혐기성 분해 과정에서 메탄, 암모니아, 황화물 및 기타 휘발성 화합물이 생성된다. 휘발성 지방산은 악취를 내는 화합물 군(群)의 하나이며 슬러리 분해로 생성된 악취는 돈사내 공기 환경(aerial environment)으로 발산된다.



[그림 3.82] 모형돈사A 돈슬러리의 이화학적 특성 경시적 변화 (左) COD<sub>cr</sub>, (右) TP

다. [그림 3.82]는 모형돈사A 돈슬러리 실험에서 COD<sub>cr</sub> 농도와 총인(phosphorus)의 변화를 경시적으로 나타낸 것이다. 일반적으로 COD<sub>cr</sub>은 실험 시간 동안 증가한다. 그림3.12는 폐수에 유기 화합물의 양이 지속적으로 증가하고 있음을 보여 준다. 이는 총고형물 증가와 관련하여 실험 첫날부터 입자상 물질이 축적됨으로써 COD<sub>cr</sub>과 인농도의 증가에 기여하는 영양소가 축적된다는 것을 의미한다.

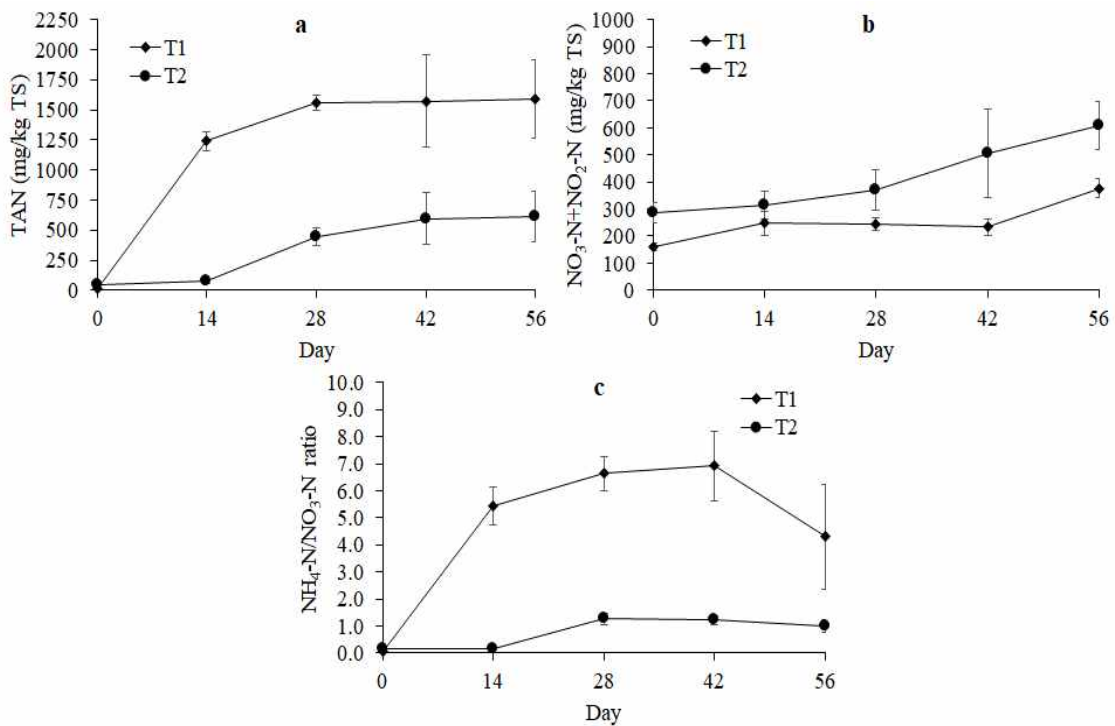
라. [그림 3.82](右)와 같이 인농도는 시간이 경과함에 따라 증가하며 이는 인은 다른 기질에 흡착하여 유동하지 않기 때문으로 이해된다. 인은 공기 중에 휘산하지 않으며 총인 농도는 유기 형태, 폴리 인산염 및 무기를 포함한 모든 형태의 인을 포함한다. 인 농도는 희석에 의해 감소될 수 있다. 실험 중 여러 시간대에서 총인 농도가 감소하였는데 여름에는 돼지가 많은 양의 물을 마시는 과정에 물의 일부가 돼지 피트로 들어가 슬러리 농도를 희석시키기 때문인 것으로 이해된다. 그러나 총인의 감소가 이런 기작이 원인인지는 분명하지 않다.

마. 돼지 슬러리 [그림 3.83]의 총암모니아 질소는 실험 기간 동안 증가하며, 이는 돼지가 성장함에 따라 슬러리피트 내에 영양소를 함유한 슬러리가 증가하기 때문이다. 총 질소 함량은 유기질소, 암모니아성 질소 및 기타 질소 화합물로 구성된다. 암모니아 질소는 악취가 나는 질소 형태 중 하나이다. 돼지 배설물에서 암모니아 질소가 방출되면 돈사내

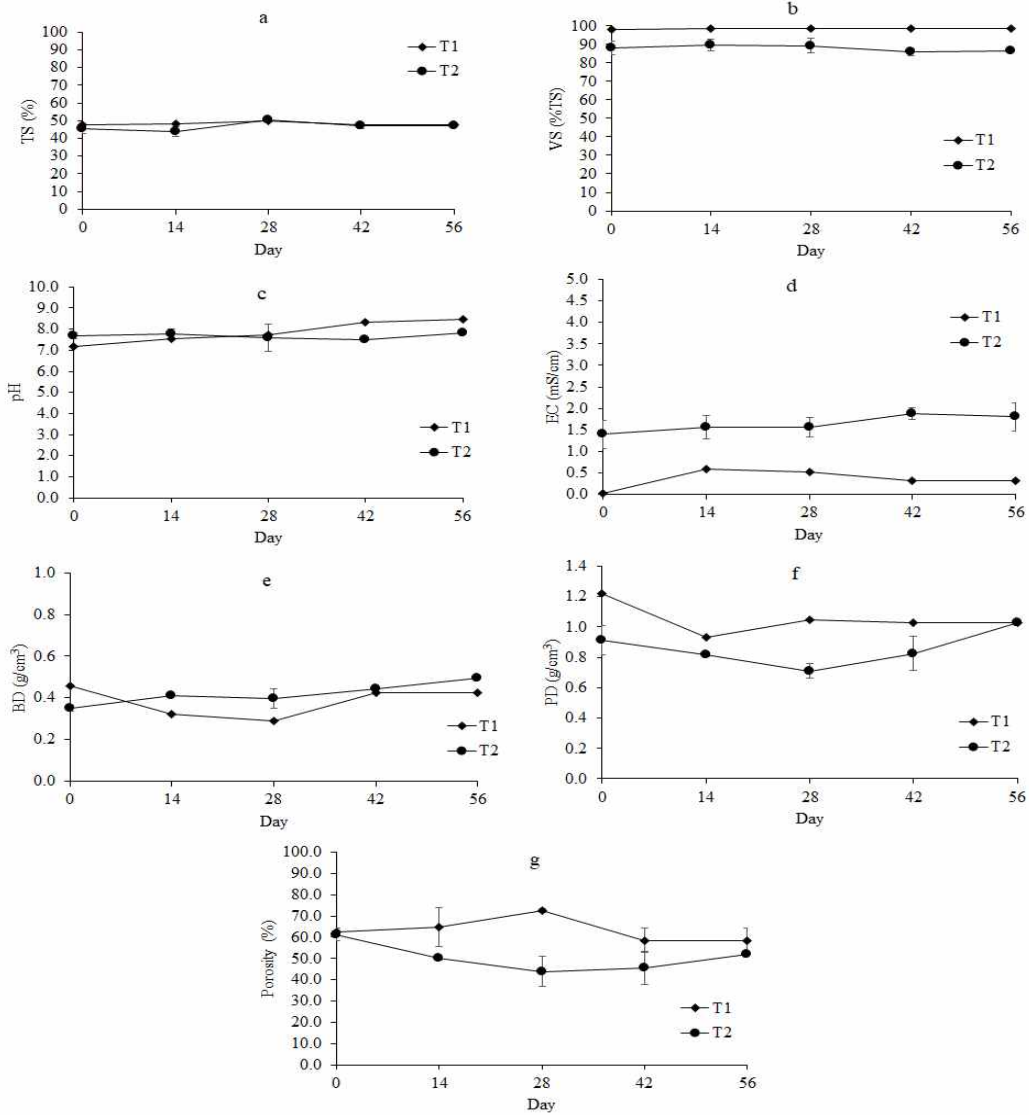
악취농도가 높아진다.

바. 질소는 미생물의 영양 공급원이다. 한편, 암모니아는 소변에서 아미노산과 가수분해 요소가 분해되어 생성되기 때문에 질소 농도가 높아질수록 암모니아 생성 가능성이 높아진다. 암모니아 성 질소는 많은 미생물에 의한 질소 함유 화합물의 분해에 의해 생성된다. (Mackie et al., 1998). 아미노산과 같은 질소 함유 화합물의 분해는 암모니아를 생성하며 더욱이 암모니아는 urase활성 미생물에 의한 요소 분해에 의해서도 생성된다. (Mackie et al., 1998)

사. 돼지 슬러리의 총암모니아질소(TAN, [그림 3.83])는 실험 기간 중 지속적으로 증가한다. 초기(0~21일)에 변화가 있었는데 이는 초기 실험 동안 슬러리 피트의 개보수 때문으로 이해된다. 암모니아 증가는 돼지 성장으로 생분변의 영양소가 추가되기 때문에 슬러리가 더욱 농축되어 총암모니아 질소(TAN)가 증가한 것으로 보인다. 또한 암모니아를 발산하는 돼지 배설물에서 단백질이 분해되기 때문에 암모니아 농도가 더욱 증가할 수 있다.



[그림 3.83] 모형돈사 A의 실험기간 중 (a) TAN ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ), (b) 질산성+이질산성-N (c)  $\text{NH}_4^+ - \text{N} / \text{NO}_3^- - \text{N}$  경시적 변화



[그림 3.84] 모형돈사A 피트 돈슬러리특성. 즉, TS, VS, 세균밀도, 먼지밀도, 공극율 등의 경시적 변화

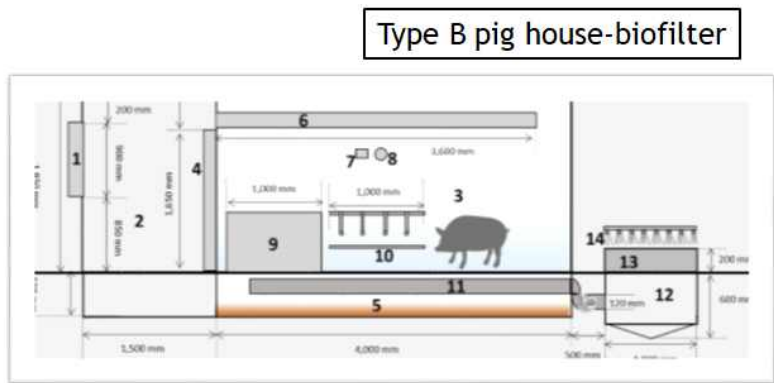
아. [그림 3.84]에서와 같이, 돼지분뇨가 매일 증가하기 때문에 고형분(TS) 및 휘발성 고형물(VS) 증가하는 경향이 있다. 휘발성 고형물은 슬러리 피트내의 미생물에 의해 유기물로 분해된다. 유기물의 혐기분해는 휘발성 화합물을 발산(發散)한다. 예를 들어, 아세트산, 프로피온산, 부티르산 및 휘발성 지방산 등이다.

자. [그림 3.84]에서 보듯이, 돈슬러리 pH는 7~8로서 매우 안정적이다. 이는 돈슬러리 양이 늘어나면서 분뇨 안의 영양소 함량이 증가하게 되어 EC증가로 이어지기 때문이다. 그러나 실험49일 이후부터는 모형돈사A 돈슬러리의 희석으로 EC가 감소하였다. 실험45일부터 처리수 (MBR)를 50liter/day 분무하였다. 돼지 두당 하루에 5 liter/일 배설한다고 가정하면 돈사 내 총 분뇨배출량인 45 liter/일의 약 1/4에 해당된다.

## (2) ICT적용 B형 모형돈사-BF 성적평가

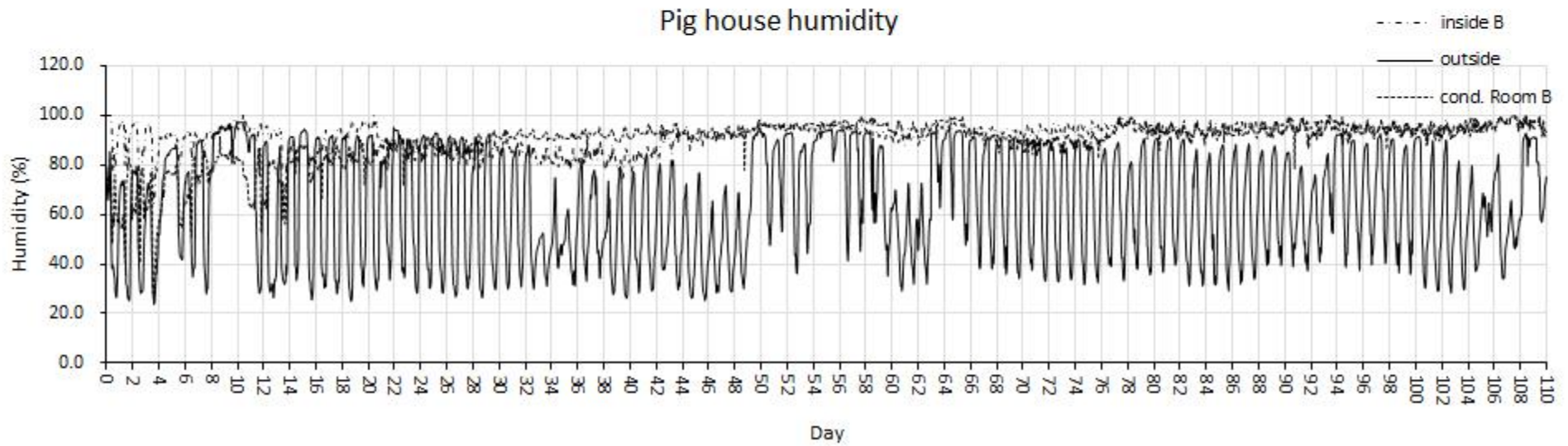
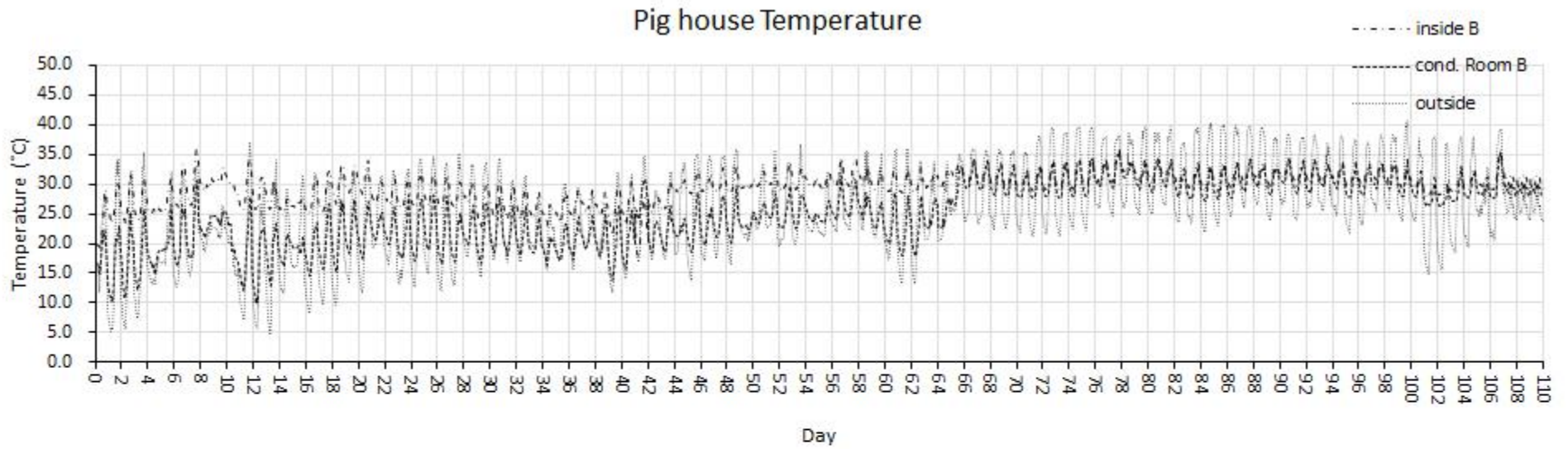
○ [그림 3.85]는 모형돈사B-바이오필터시스템의 실상도이다. 돼지 초기 평균체중은 25kg (9주령)이며, 돈방 사육두수는 9두로 두당면적은 1,33㎡/두로서 복지수준에 해당한다. 모형돈사B 온도, 상대습도 경시적(經時的) 변화는 [그림 3.86]과 같다. 본 실험은 늦은 봄부터 여름에 진행되었다(5.8~8.26). 돈사 외부의 온도 조건이 변동했음에도 불구하고 더운 계절에는 돈사 내의 온도를 25~32℃의 수준으로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

Category	Description
Pig number (head)	9
Male (head)	5
Female (head)	4
Average body weight (kg)	25



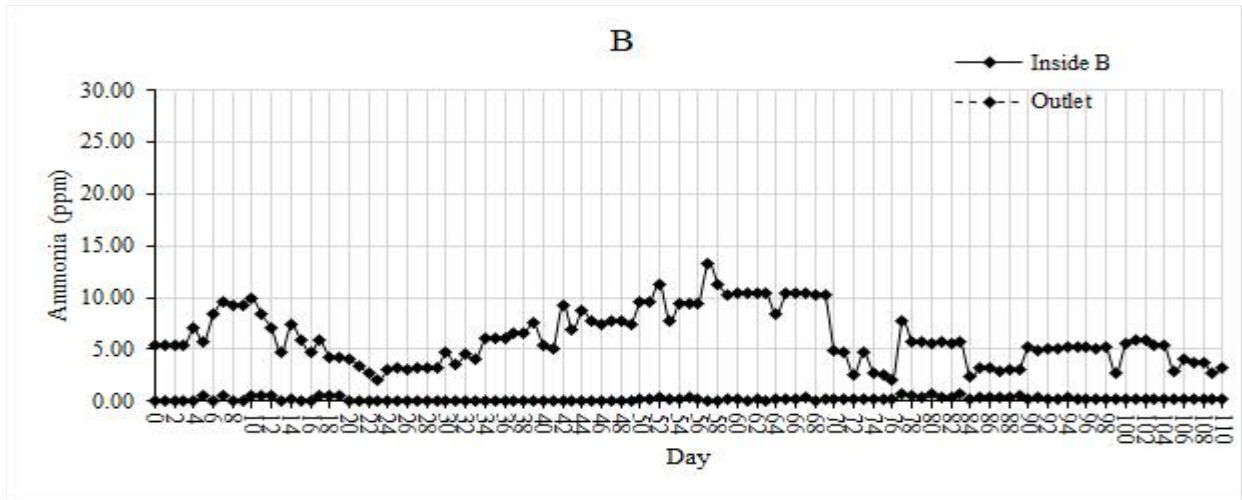
[그림 3.85] 모형돈사B 실상도

- ICT 시스템에서 모형돈사 온도는 28℃±2℃로 설정되었다. 따라서 시스템은 냉각 시스템 및 환기 시스템과 관련된 모든 장비의 작동을 조절하여 온도를 목표 수준에 도달하도록 유지한다. 허용온도 범위가 ±2℃인 경우 내부 온도가 2℃ 이상으로 온도가 상승하면 환기팬이 최대 또는 최저로 작동된다.
- 분석결과, 내부 환경제어를 위한 적용 ICT 시스템이 작동하고 있음을 입증 되었다. 외기상 상태로 인해 외부 환경 조건이 변화할 수 있지만 내부 환경 조건은 설계하므로 변화하지 않는다. 이와 같은 상황에서는 냉각시스템을 적용하면 높은 에너지 (전력)가 소비되어 운영비용이 늘어날 수 있다.



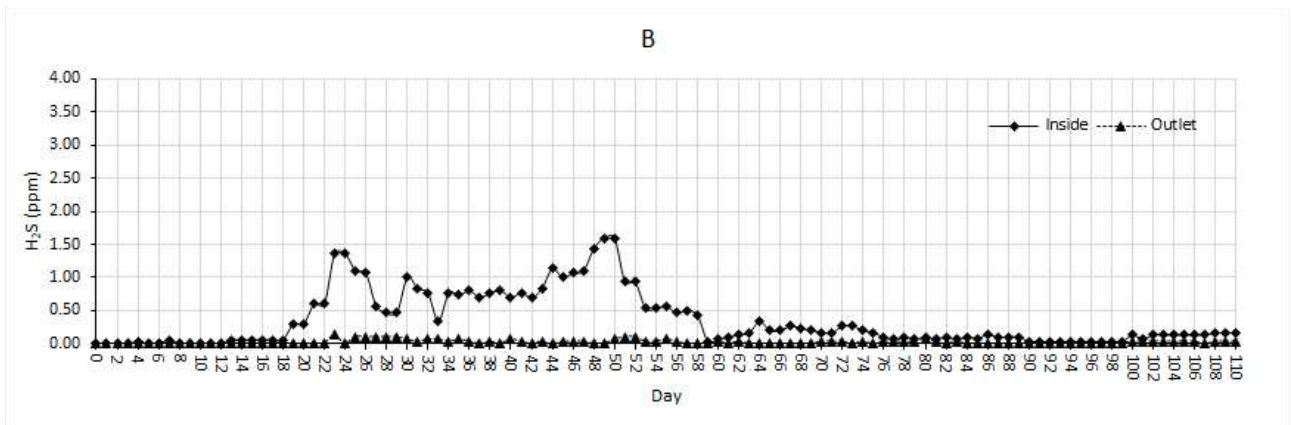
[그림 3.86] 모형돈사B 경시적 온도(上) 습도(下) 경시적 변화

- 여름철에 모형돈사B 습도조건을 [그림 3.86](下)와 같다. 분석결과 B형 모형돈사 내부 습도 범위는 약 80~98%로 적정 습도 70%보다 높았다. 이는 다습한 계절적 영향이며, 증발식 냉각 시스템 가동으로 사육실로 유입공기의 함유 수분량이 증가하여 습도를 증가시킬 수 있다. 또한 수증기는 돈사의 슬러리로부터의 증발뿐만 아니라 돼지 활동에 의해 생성될 수도 있다.



[그림 3.87] 모형돈사B 지점별(실내, 실외) 암모니아 농도 경시적 변화

- 본 실험에서 모형돈사B의 암모니아 농도의 경시적 변화는 [그림 3.87]과 같다. 사육실 내부의 암모니아 농도 2.0~13.3ppm 범위로서, 실험58일 암모니아 농도 13.3ppm로 가장 높았으며 실험70일 3ppm으로 가장 낮았다. 이는 액상 미생물체 및 MBR 재순환수 분무 처리의 효과에 의해 저감되었을 것으로 여겨진다. 실내 분무된 처리수는 암모니아 약취 화합물을 용존하여 액상NH<sub>4</sub>로 변환됨으로써 암모니아 농도가 저감된다. 물론 BF후 암모니아농도는 거의 zero 수준으로 무취(無臭)이었다



[그림 3.88] 모형돈사B 지점별(실내,실외) 황화수소 농도 경시적 변화

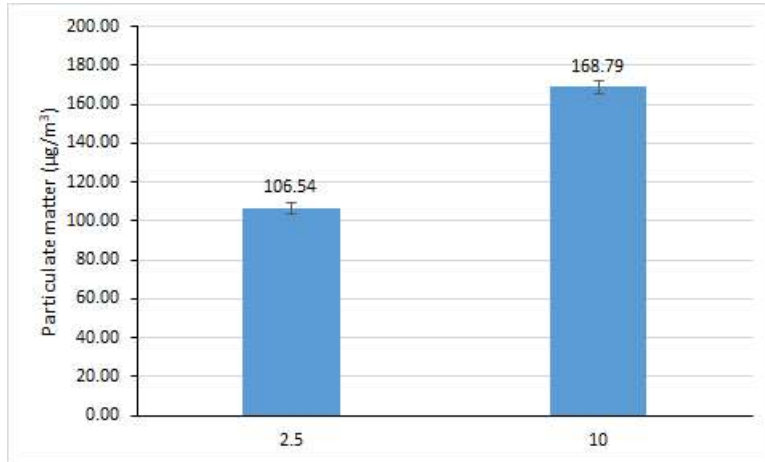
- 실험 기간 동안 모형돈사B 경시적 황화수소 변화는 [그림 3.88]과 같다. 사육실내부의 황화수소 농도는 0~1.60ppm 범위로서 황화수소 농도는 실험50~52일 가장 높았다. 그러나 바이

오필터 시스템 이후에 황화수소 농도는 0~0.1 ppm 수준으로 거의 인지 수준 이하로 떨어졌다. 모형돈사 B의 바이오필터시스템은 외부환경으로 발산되는 H2S를 불감응 수준으로 감소시킬 수 있었다. 돈사 내부의 높은 H2S 농도는 아마도 돈사 내의 산소농도 수준을 감소시키는 저(低)환기율이 때문일 것으로 판단된다. H2S는 대개 혐기성 환경에서 생성된다. 더운 여름철에는 돈사내 환기율이 증가하므로 더 많은 공기가 유입되어 돈사 내에서 H2S를 희석하여 거의 감지되지 않았다.

- 모형돈사B 바이오필터 시스템의 평균 휘발성 유기산(VOC) 약취 농도 분포는 [표 3.11]에 제시되어 있다. B형 모형돈사 약취는 휘발성 지방산(VFA) 약 599.30ppbv 주된 화합물이었고 두 번째 약취 원인물질은 황화합물로서 약 5.09ppbv, 페놀약취는 약 0.94 ppbv로 가장 낮았다. 바이오필터 시스템 이후, 총 휘발성 유기산(VOC) 약취는 초기 농도 605.31ppbv에서 90.30ppbv ( $p < 0.05$ )로 초기에 비해 약 85 % 정도 삭감되었다.

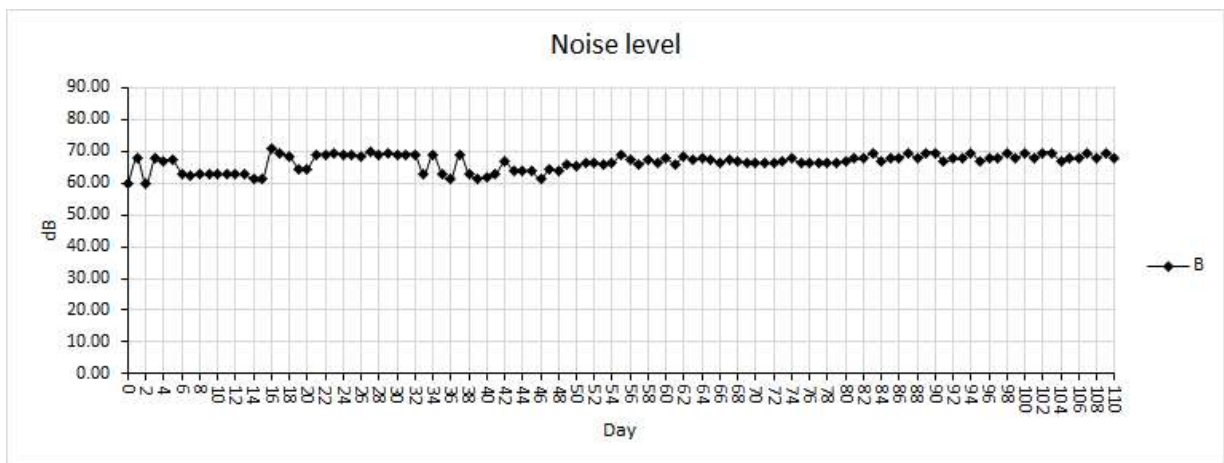
[표 3.11] 모형돈사B 지점별 약취농도 분포

VOA odor	A inside	A out
AA	73.16	46.02
PA	20.05	2.70
BA	1.95	0.15
VA	4.20	0.04
VA	489.78	38.04
p-CRESOL	0.50	0.00
INDOLE	0.44	0.21
SKATOLE	0.00	0.00
MM	0.00	0.00
DMS	3.17	1.66
DMDS	1.89	0.00
Total VFA	599.30	88.42
Total Phenol	0.94	0.21
Total Sulfuric	5.06	1.66
Total VOA	605.31	90.30



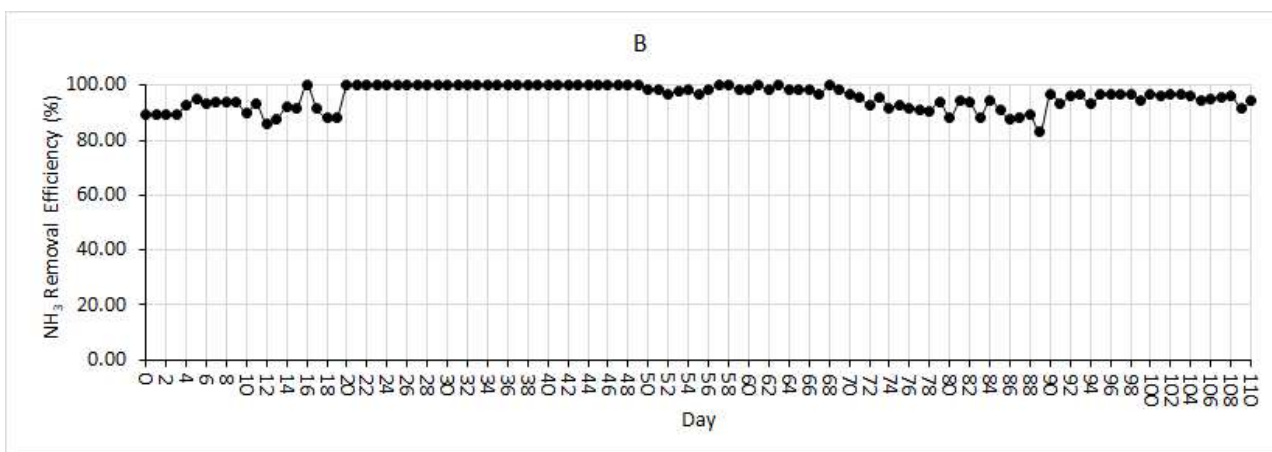
[그림 3.89] 모형돈사B의 입자별 미세먼지 농도 분포

- 모형돈사B의 미립자 농도는 [그림 3.88]와 같다. 분석결과, 실험 중 PM10은 168.79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  으로 PM2.5 평균농도는 106.54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 56% 높게 나타났다.



[그림3.90] 모형돈사B 사육실 소음강도 변화

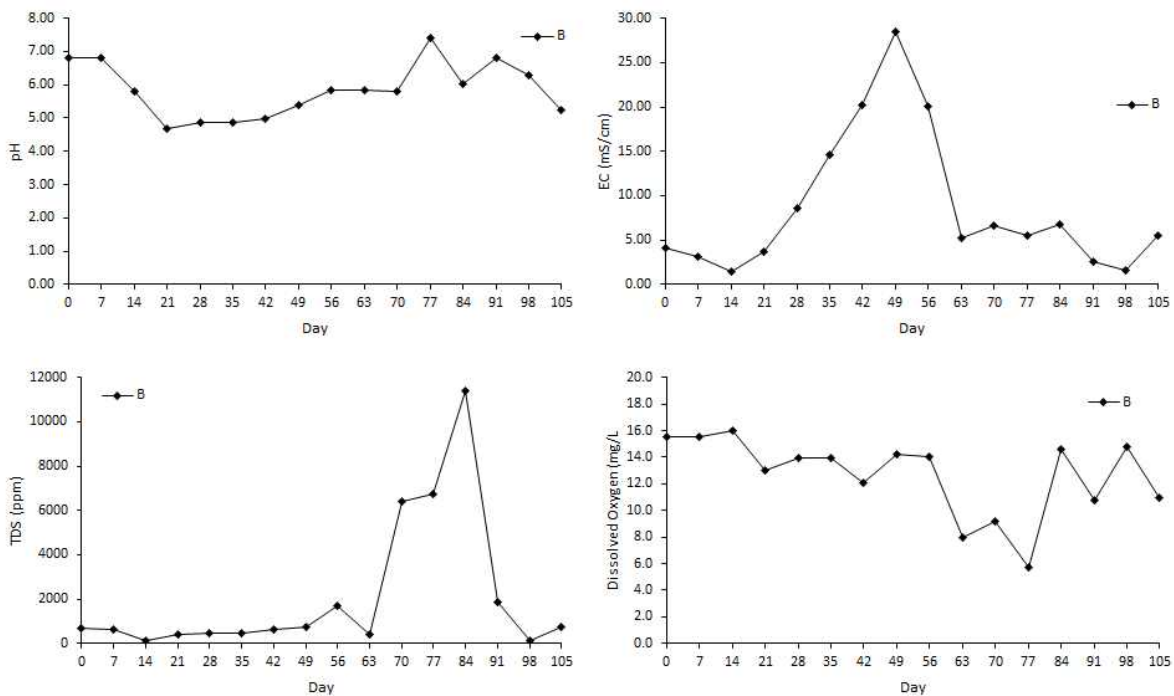
- 실험 중 모형돈사B 소음수준은 [그림 3.90]과 같다. 이 실험에서 모형돈사B 내부의 소음 수준은 59.80~70.80 dB 범위로서 정온(定溫)한 수준이었다.



[그림 3.91] 모형돈사B BF후 암모니아 농도 삭감효율 변화

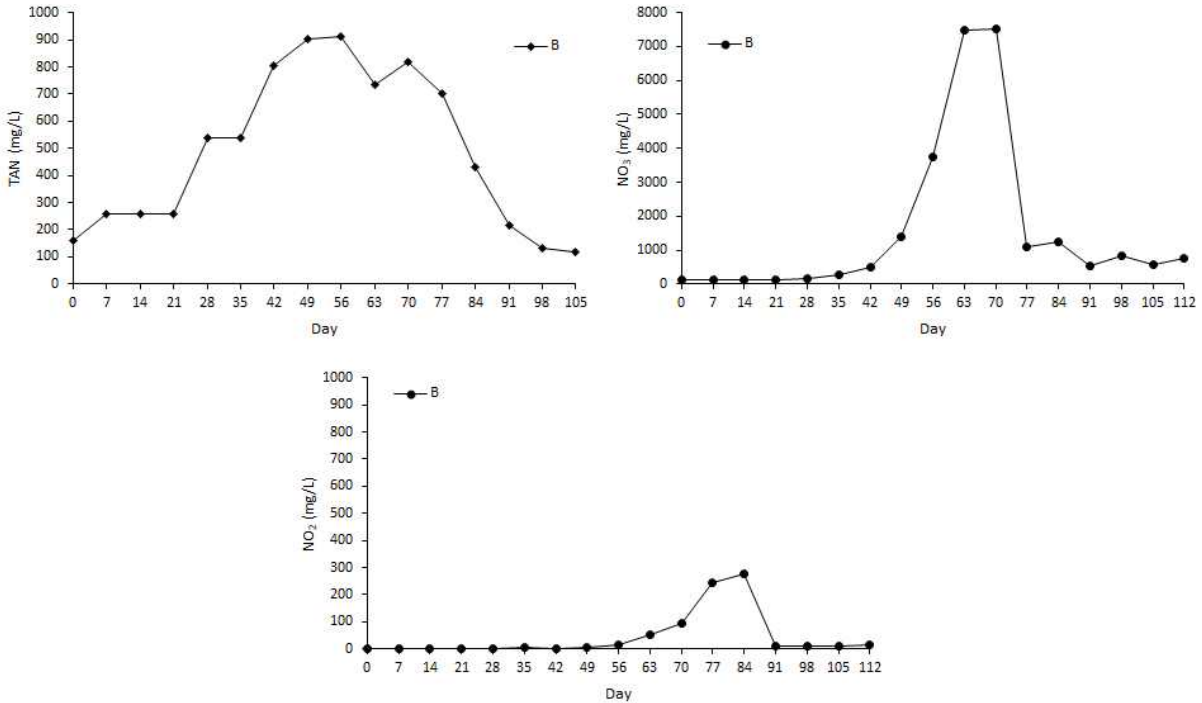


○ 실험 기간 동안 모형돈사B 바이오필터 시스템의 일일 평균 암모니아 삭감효율은 [그림 3.91]에 제시되어 있다. 바이오필터의 삭감효율은 80% 이상으로 상대적으로 일정하게 나타났다. 암모니아 감소효율은 성장 중인 돼지의 실험20일에서 실험50일 사이 거의 100%에 이르며, 실험90일에는 82% 수준까지 감소하였다. 암모니아 저감효율은 실험90일~110일 다시 증가하였다. 이는 바이오필터 시스템의 미생물 활성도 저감과 바이오필터 재순환 MBR 수 때문일 것으로 판단된다. 시간 경과한 후 재순환수가 암모니아로 포화되었을 때 삭감효율은 떨어지지만 미생물이 안정적으로 성장하여 바이오필터에 채워지면서 암모니아 약취가 용존(溶存)되기 때문이다. 본 연구에서 재순환수 교체기간은 1.5개월에 한 번 실시하였으나 대규모 시설에서는 상황이 다를 수 있다.



[그림 3.92] 모형돈사B 바이오필터 재순환수의 이화학적 특성

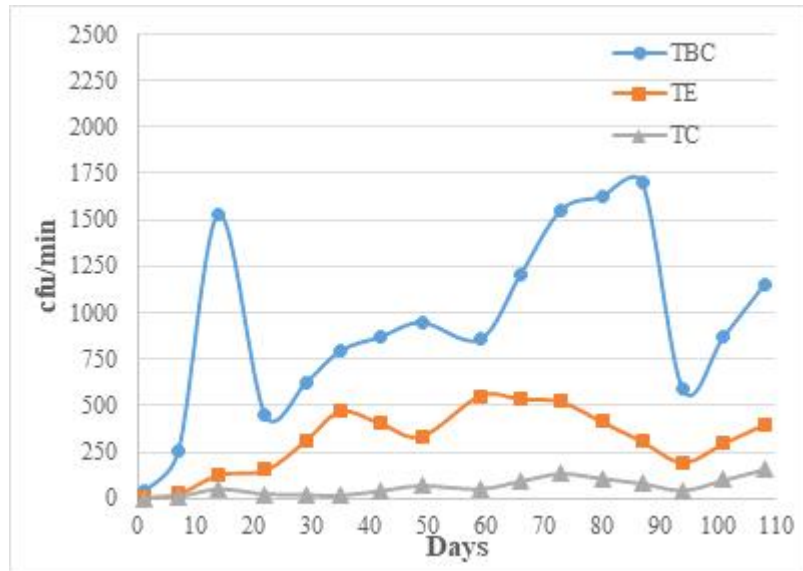
○ 실험 중 모형돈사B 바이오필터 시스템 재순환수의 이화학적(理化學的) 특성은 [그림 3.92]와 같다. 재활용 MBR수의 pH는 4.7~7.41 범위이었다. MBR수의 pH가 낮은 것은 지하에 산소가 제한되어 MBR 저수조에서 혐기발효가 일어났기 때문인 것으로 판단된다. MBR재순환수의 EC는 실험 기간 동안 점차적으로 증가하여 실험49일 28.47mS/cm로 가장 높은 수준에 이르렀지만 이후 급격하게 감소하였다. EC의 급격한 감소는 무기물(mineral) 및 유기물 농도가 훨씬 적은 MBR 재순환수의 교체 때문으로 판단된다. MBR 재순환수의 용존산소는 5.77~15.99 mg/L 범위로 상당히 높게 나타났다.



[그림 3.93] 모형돈사B의 바이오필터 재순환수 질소분율

- 모형돈사B 바이오필터를 위한 재순환수 질소분율은 [그림 3.93]과 같다. 실험70일 사육 동안 재순환수에 회석된 총 암모니아 질소(TAN)는 증가하였다가 다시 감소하였다. 이는 가스 상(狀) 암모니아가 회석되거나 물에 용존되었음을 의미한다. TAN농도 감소는 MBR 재순환수 교체 또는 보충 때문일 수 있다. 가장 높은 재순환수 TAN농도는 900mg/L에 이르렀다.
- 본 실험에서 MBR 재순환수 TAN (총 암모니아질소)의 축적은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 축적에 의한 듯하다 ([그림 3.93]). NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도는 서서히 증가하여 최대 7,000mg/L에 이르렀고, 이후 급격히 감소하였다. 이것은 재순환 MBR 수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 뿐만 아니라 TAN의 고농축으로 인한 질산화 과정이 억제되기 때문으로 이해된다. 재순환 MBR수 아질산염 농도가 300mg/L 이상이면 질화 박테리아 위해(危害)되어 아질산염에서 질산염으로의 전환이 억제된다. 또한, 일정기간 경과 후, MBR 재순환수의 일부는 증발되며 MBR 재순환수의 양을 일정하게 유지하기 위해 자동 수위시스템이 작동한다. 따라서 TAN과 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도는 똑같은 경향을 보인다.
- 부유세균 (Aerial microbes) :
  - 가. 총세균수(TBC), 총 대장균(TE) 및 총 분변균(TC)과 같은 부유세균을 분석하여 공기 질 및 환기효율 검증실험을 수행하였다. 공기 중 세균은 표준 페트리 접시 (90~15mm, SPL Life Sciences, Pochun-si)를 사용하여 plate settling 방법으로 측정하였으며, TBC 측정을 위해 Tryptic soy agar (Merck) 배지를 사용하였다. Chromocult Coliformen agar(Total Merck)를 대장균 (TE) 측정에, MFC 한천을 분변 대장균 (TC) 계수에 사용

하였다. TBC는 샘플링 후 실험실로 옮겨 35℃에서 24시간 동안 배양하였다. TC 및 TE는 48시간 동안 배양 후 colony를 셈하였다. colony는 세팅 분당 colony수(cfu/분)로 계산하였다.



[그림 3.94] 모형돈사B 공기 중 부유세균 종별(種別) 경시적 변화

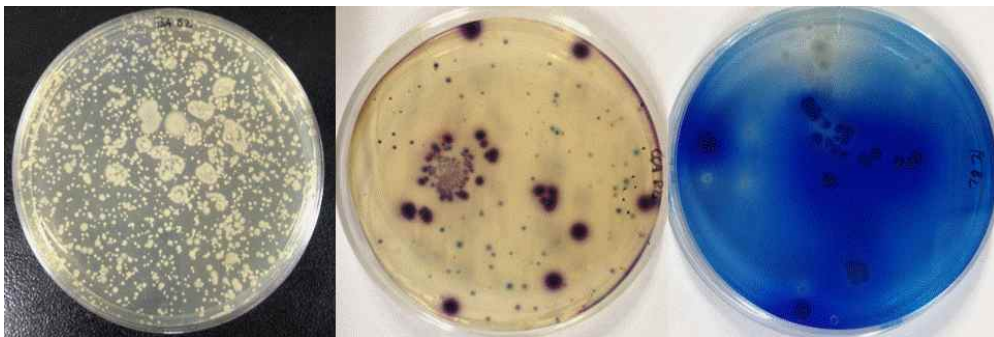
나. 모형돈사B 공기 중 미생물 농도 경시적 변화를 [그림 3.94]와 같다. 모형돈사A의 결과와 마찬가지로 공기 중 총세균수 (TBC)가 가장 높았으며, 다음에 총 대장균(TE), 총 분변균(TC)의 순(順)으로 높았다. TBC는 TBC, TE, TC 등의 공기 중 세균으로 구성되며, TBC 밀도는 TE, TC보다 현저히 높았다. 돈사에 존재하는 공기 중 미생물은 돼지의 분변, 사료 및 식수의 자생 미생물 또는 돼지 피부편, 바닥재 또는 작업자의 몸에 부착된 세균에서 유래되는 것으로 판단된다.

다. [그림 3.94]에 의하면 공기 중 미생물 밀도는 경시적(經時的)으로 증가추세를 보였다. 이는 시간이 지남에 따라 돼지 활동이 증가하고 돼지 증체에 따른 슬러리의 양이 많아져 축적되기 때문인 것으로 판단된다. 실험1일에는 거의 공기 중 세균이 관찰되지 않았다. 그러나 실험14일 공기 중 세균수는 초기와 비교하여 현저히 증가하였다. 사육일 14일 이후에는 모형돈사 B의 TBC가 현저히 감소하였다가 다시 증가하였다. 세균밀도는 여전히 실험14일보다 적었다. 이는 돈사내의 온도상승을 억제하기 위한 환기율의 증가로 판단된다. 모형돈사B 피트내 돼지 슬러리가 축적됨에 따라 TE와 TC도 증가한 것으로 여겨진다.

라. [그림 3.94]결과 모형돈사B 공기 중 세균밀도는 경시적으로 안정적인 상태에 이르지 못

하였다. 모형돈사B 공기 중 미생물 밀도가 모형돈사A보다 훨씬 높은 것은 모형돈사B 환기가 공기 중 부유물질(PM)을 희석하지 못해 그래서 부유세균밀도도 높게 유지되는 등의 원인으로 이해된다. 그러나 모형돈사B에서 환기율이 증가한 후에 돈사의 공기 중 세균밀도는 모형돈사A보다 낮아졌다.

마. 그러나 실험60일 모형돈사B의 공기 중 세균밀도는 모형돈사A보다 높았다. 모형돈사B가 모형돈사A보다 전반적으로 악취농도가 낮아 더 나은 환경과 적정 온도대로 모형돈사B 돼지활동이 더 활발해진 때문으로 여겨진다. 이는 돼지 활동이 활발할수록 공기 중 세균 및 분진밀도를 증가할 수 있다. 모형돈사 B에서 최대 TBC 밀도는 1,696 cfu/min로 분석되었다([그림 3.95]).



[그림 3.95] 모형돈사 B의 공기 중 세균밀도 (左) TBC (中) TE, (右) TC

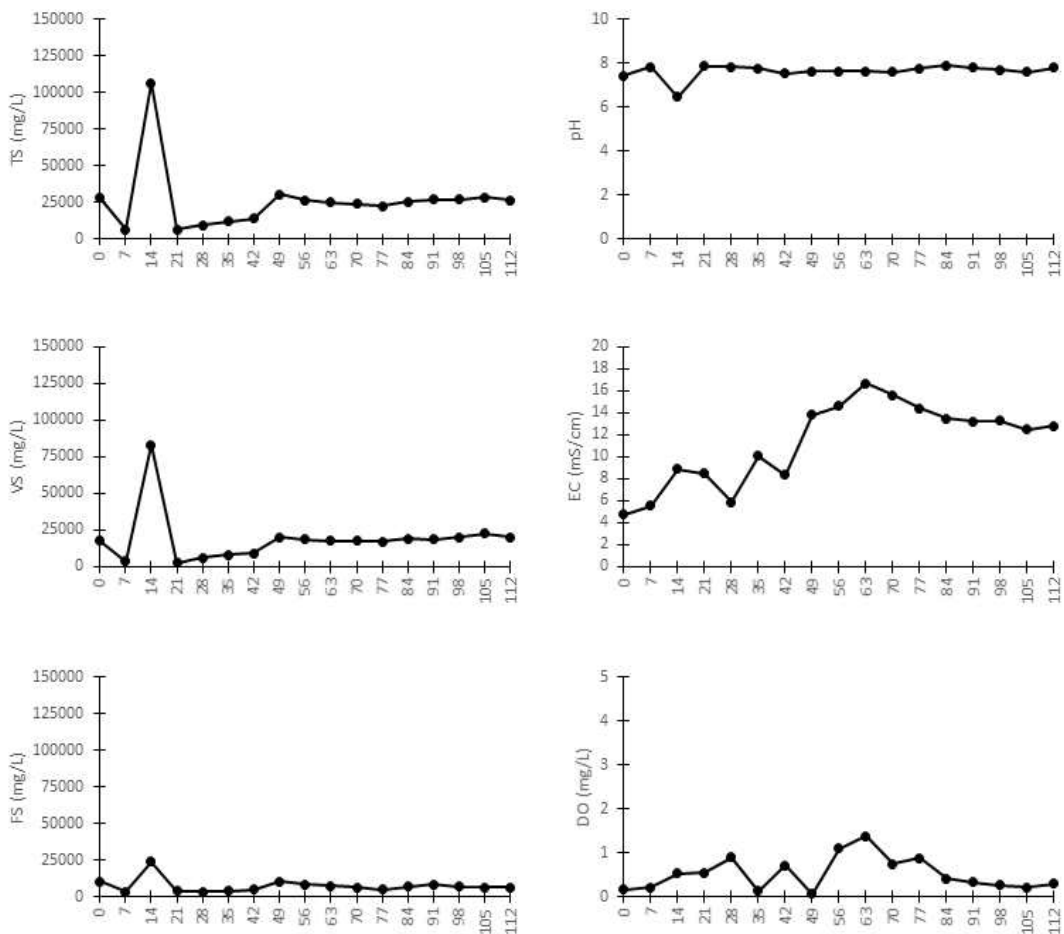
○ 돈슬러리 (Swine slurry) :

가. [그림 3.96]에서와 같이 돼지 분뇨 경시적 증가로 총고형물(TS), 휘발성 고형물(VS) 및 비활성 고형물(FS) 증가한다. 휘발성 고형물은 슬러리 피트의 미생물에 의해 분해가능한 유기물을 말한다. 유기물 혐기분해는 휘발성 화합물, 예를 들어, 아세트산, 프로피온산, 부티르산 및 기타 악취가 나는 휘발성 지방산과 같은 휘발성 지방산 등을 휘산(揮散)시킨다.

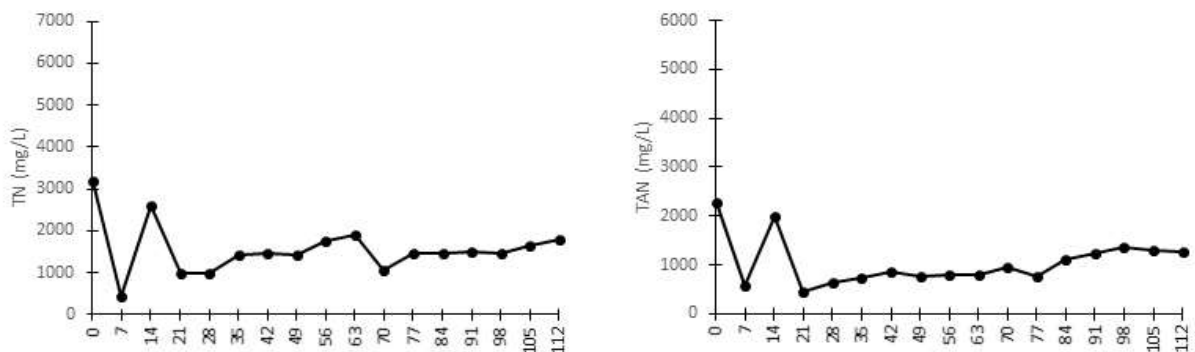
나. [그림 3.96]에서, 돼지 슬러리 pH는 7~8로서 매우 안정적이다. 이는 돼지 슬러리 양이 늘어나면서 분뇨 안의 영양소 함량이 증가하게 되어 EC 증가로 이어지기 때문이다. 그러나 실험49일 이후부터는 모형돈사B 돼지 슬러리의 희석으로 EC가 감소하였다. 실험 45일부터 처리수 (MBR)를 50 liter/day 분무하였다. 돼지 두당 하루에 5 liter/일 배설한다고 가정하면 돈사 내 총 분뇨배출량인 45 liter/일의 약 1/4에 해당된다.

다. 돈슬러리의 미생물 분해 과정에서 산소부족(oxygen depletion)으로 인해 피트 내 혐기상태

로 변환된다. 그러나 실험49일 후에는 오히려 용존산소가 증가한다. 이는 앞에서 설명한 것처럼 MBR 재순환수의 살포로 인한 희석 때문으로 판단된다. MBR 재순환수의 평균 용존산소 밀도는 상대적으로 높은 5.9 mg/L로서 피트 슬러리를 대체하면 피트 용존산소의 증가하여 호기상태로 전환된다. 또한, 호기 반응조의 처리수의 용존산소는 3.18 mg/L이며 이 또한 모형돈사B 피트 슬러리의 용존산소 밀도 증가에 기여한 것으로 판단된다.



[그림 3.96] 모형돈사B의 돈슬러리 처리수의 이화학적 특성

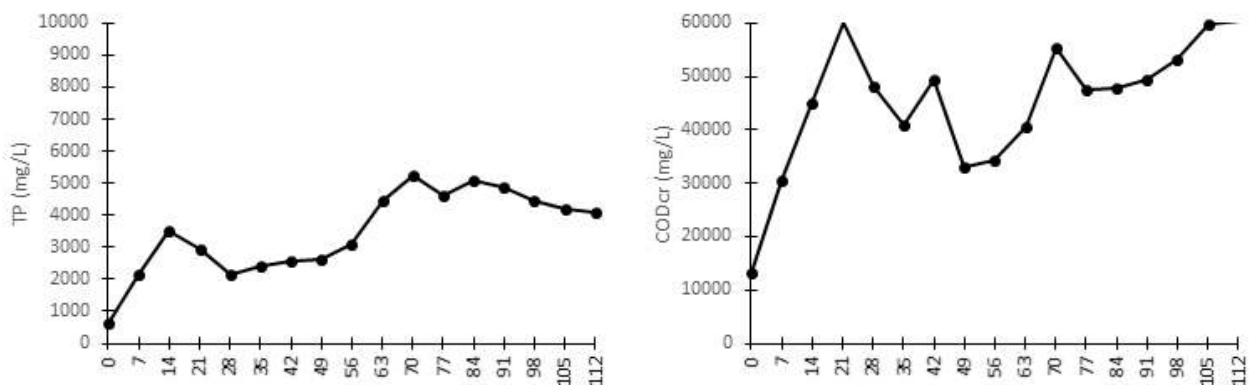


[그림 3.97] 모형돈사B 돈슬러리 처리수의 총질소(左), 암모니아성-질소(右) 경시적 변화

라. [그림 3.97]에서와 같이 돼지 슬러리 총질소(TN)는 실험 초기부터 실험21일까지 증가하다 이후 실험 기간이 끝날 때까지 감소하였다. 실험1일부터 실험7일까지 감소한 것은 피트에서 돈슬러리 저장을 위한 공간 확보를 위해 돈슬러리를 배출한 때문이며, 실험21일부터 돼지분뇨가 매일 추가되어 총질소가 증가하였다. 그러나 이후 총질소는 실험종료일까지 서서히 감소되었다. 앞서 언급하였듯이 영양소 농도 감소의 한 요인은 50 liter/일 MBR 재순환수 대체로 희석되기 때문이며, 호기 반응조에서 처리수의 재순환이 총질소 농도를 더욱 감소시키는 결과로 이어졌다.

마. 질소는 미생물의 영양 공급원이고 질소의 농도가 높아질수록 뇨의 아미노산 가수분해로 암모니아가 생성되기 때문에 질소 농도가 높아질수록 암모니아 생성 가능성이 높다. 암모니아성 질소는 많은 미생물에 의해 질소 화합물의 분해에 의해 생성된다. (Mackie et al., 1998). 아미노산과 같은 질소 화합물의 분해는 암모니아를 생성하며 암모니아는 urease 활성을 갖는 미생물과 함께 urea 분해에 의해 생성 된다 (Mackie et al., 1998).

사. [그림 3.97]에서와 같이, 돈슬러리의 총암모니아 질소는 실험 기간이 끝날 때까지 지속적으로 감소한다. 그 이유 중 하나는 MBR 재순환수 분무, 피트에서 처리수의 재순환 때문으로 판단된다. 재순환에 사용되는 호기성 처리수는 폭기로 인해 질소와 암모니아 양이 적다. B형 돈사의 피트에서 나온 슬러리는 탈질화를 통해 질소 환원이 이루어지는 무산소 반응조를 통과한다. 무산소 반응 후, 폐수는 폭기가 이루어지는 호기 반응조를 통과한다. 폭기 공정은 산화를 통해 암모니아 질소를 감소시킨다. 따라서 슬러리 피트로 재순환되는 재순환수는 암모니아의 농도를 희석된다.



[그림 3.98] 모형돈사B의 CODcr(右), TP(左) 농도 경시적 분포

아. [그림 3.98]은 모형돈사B 돈슬러리에 대한 실험 중 CODcr 농도와 총인의 경시적 변화

를 나타낸다. 일반적으로 CODcr은 실험기간 동안 증가한다. 이는 폐수에 유기화합물의 양이 증가하고 있음을 의미하며, 총고형물 양의 증가와 관련이 있을 수 있다. 실험 첫날부터 입자상 물질이 축적되어 CODcr와 인 농도의 증가에 기여하는 영양소가 축적되고 있음을 알 수 있다.

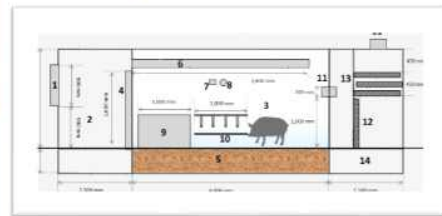
자. 시간이 지남에 따라 인 농도가 증가한다. 이는 인이 공기 중에 휘발하지 않는 불유동(不流動) 물질이기 때문이다. 총인 농도는 유기 형태, 폴리 인산염 및 무기물을 포함한 모든 형태의 인을 포함한다. 인농도는 희석에 의해 감소될 수 있다.

### (3) ICT적용 C형 모형돈사-BF 성적평가



Type C pig house-biofilter

Category	Description
Pig number (head)	9
Male (head)	4
Female (head)	5
Average body weight (kg)	25

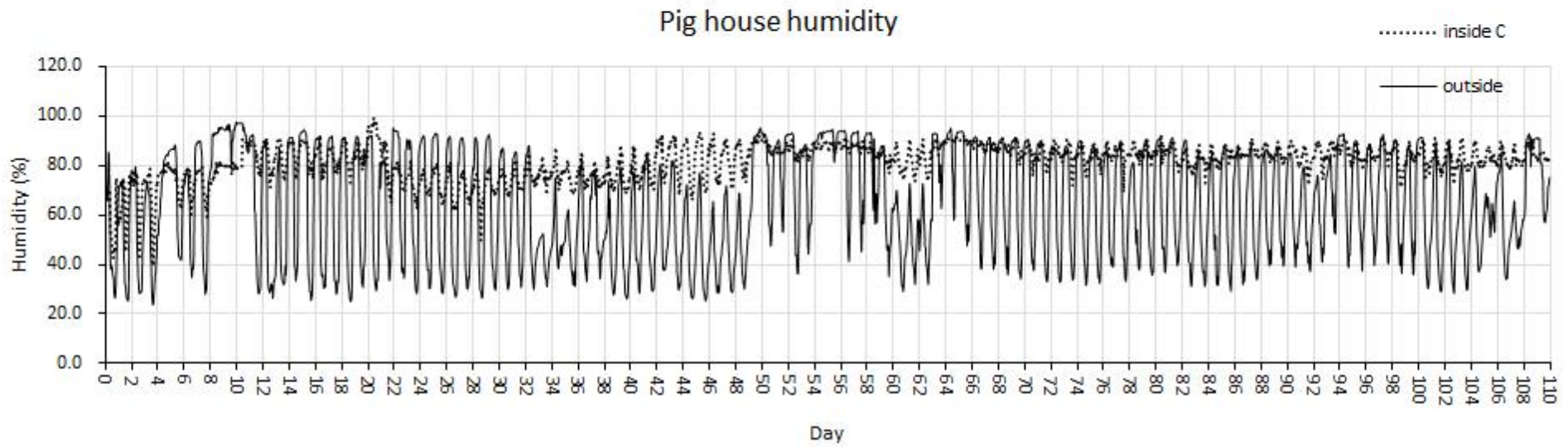
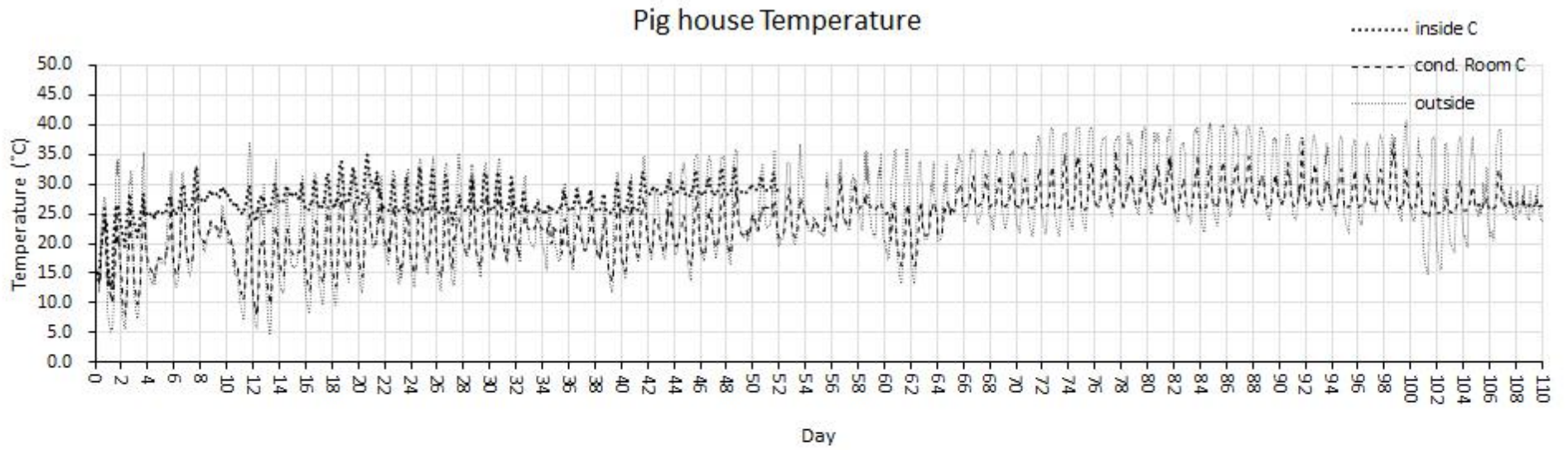


[그림 3.99] ICT적용 C형 모형돈사 실상도

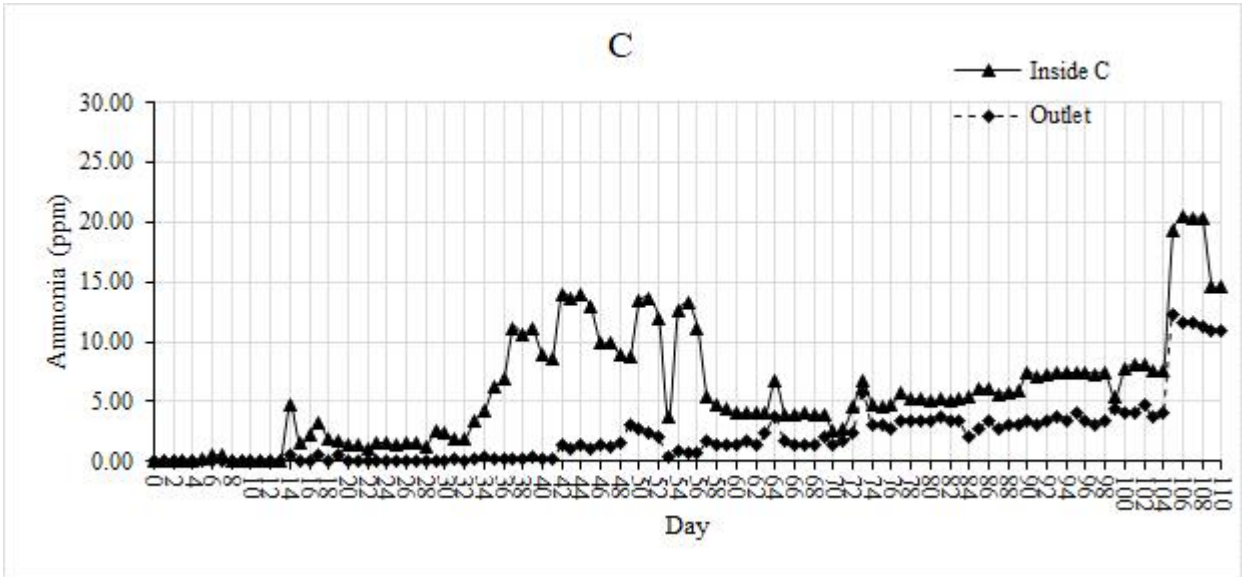
○ [그림 3.99]는 모형돈사C 톱밥깔개돈사로서 그 실상도를 보여준다. 입식 시 돼지 초기 평균 체중은 25kg(9주령)로서 각 사육 돼지는 총 9마리로서 사육밀도는 1.33m<sup>2</sup>/두으로 산정되었다. [그림 3.100]은 C형 모형돈사의 온도, 상대 습도 변화를 나타낸다. 본 실험은 늦은 봄 부터 여름에 수행되었다. 일반적으로 돈사 외부의 온도 조건이 변동 했음에도 불구하고 더운 여름에 돈사내의 온도는 25 ~ 32 ° C의 수준으로 유지할 수 있었다.

- ICT시스템에서 모형돈사 온도는  $28\pm 2^{\circ}\text{C}$  로 설정되었다. 따라서 시스템은 냉각시스템 및 환기 시스템과 관련된 모든 장치를 연동제어하여 설정온도를 유지하였다. 허용온도가  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인 경우 내부 온도가  $2^{\circ}\text{C}$  이상 또는 이하로 상승하거나 하강할 때 상응하는 팬rpm을 작동하도록 한다. 팬가동 즉, 환기시스템으로 불가능하면 보조열원으로 냉각(冷却)하거나 가온(加温)해야 한다. 혹서기에서는 냉각시스템이 필요할 수 있지만, 냉각시스템을 적용하면 에너지(전력)비가 증가하여 운영비가 높아질 수 있다..
- 분석 결과, 적용 ICT 시스템이 정확히 작동하여 설정한 환경조건을 잘 유지함을 알 수 있었다. 중요한 것은 기상 조건으로 인해 외부 환경 조건은 가변적이지만 돈사 내부의 환경 조건은 설정되어 있으므로 변하지 않는다. 여름철 실험에서 모형돈사C 습도조건은 그림 3.30과 같다. 모형돈사 C 내부의 습도 범위는 40~99% 범위로서 돼지에게 쾌적한 습도인 약 70% 이하 요구범위보다 높았다. 이는 여름철의 높은 습도조건 때문인 것으로 판단되며 증발식 냉각시스템은 돈사 내부로 유입 수분량을 증가시켜 돈사내의 습도를 더욱 증가시킨 때문으로 이해된다. 또한 사육실의 슬러리로부터 증발 수분과 돼지 활동에 의해 수분 증가도 습도를 높이는 원인으로 판단된다.



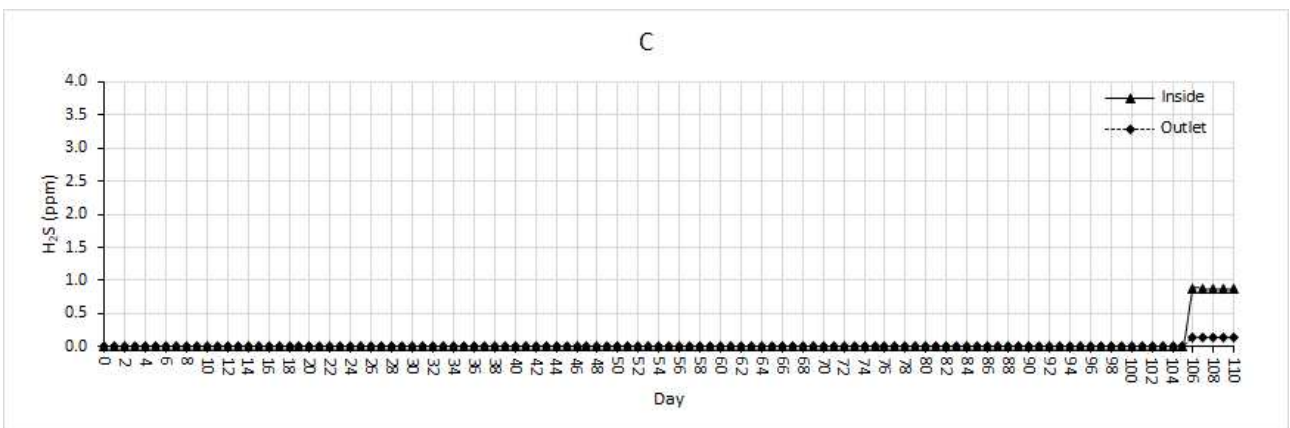


[그림 3.100] 모형갈개돈사 C의 경시적 온도(上), 습도(下) 경시적 변화



[그림 3.101] 깔개모형돈사 C의 경시적 암모니아 변화

- 본 실험에서 모형돈사C의 암모니아 농도의 경시적 변화는 [그림 3.101]과 같다. 6kg/12m<sup>2</sup> 일 반미생물제제를 실험-7일 살포하였다. 사육실 내부의 암모니아 농도0.0~20.0ppm 범위로서, 최고-최저의 암모니아농도차가 근20ppm에 이르렀다. 특히 실험40~58일 암모니아 농도 12ppm 수준이며, 이후 3~4ppm까지 감소하여, 실험100일 7ppm까지 점증하였다. 실험종료 7 일간은 급증하여 20ppm에 까지 이르렀다.



[그림 3.102] 모형깔개돈사C 경시적 황화수소 변화

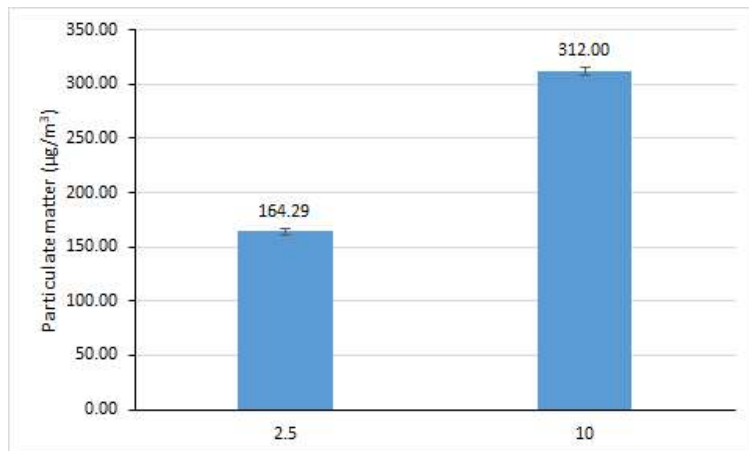
- 실험 기간 동안의 모형돈사C 일일 평균 황화수소 경시적 변화는 [그림 3.102]와 같다. 사육 실 내부의 황화수소 농도는 0~0.87ppm 범주에 있다. 황화수소 농도는 실험106일에 가장 높 았다. 그러나 바이오필터 시스템 적용 이후 황화수소 농도는 0~0.1ppm 의 zero수준으로 떨 어졌다. 모형돈사C 외부로 방출되는 H<sub>2</sub>S 거의 무농도에 가까웠다. 돈사 내의 H<sub>2</sub>S 농도가

높은 것은 깔개돈사 분뇨 축적 때문으로 이해된다. 돼지분변 축적은 깔개의 공극(孔隙)을 막고 산소공급을 억제할 수 있기 때문에 혐기성 조건을 유발할 수 있다. 또한, 톱밥이 바닥 깔개재에 쌓인 폐기물과 함께 물을 많이 머금고 있기 때문에 혐기성 조건이 활성화되어 H2S 더 많아 생성되었다여겨진다.

[표 3.12] 모형돈사 C 지점별 악취농도 분포

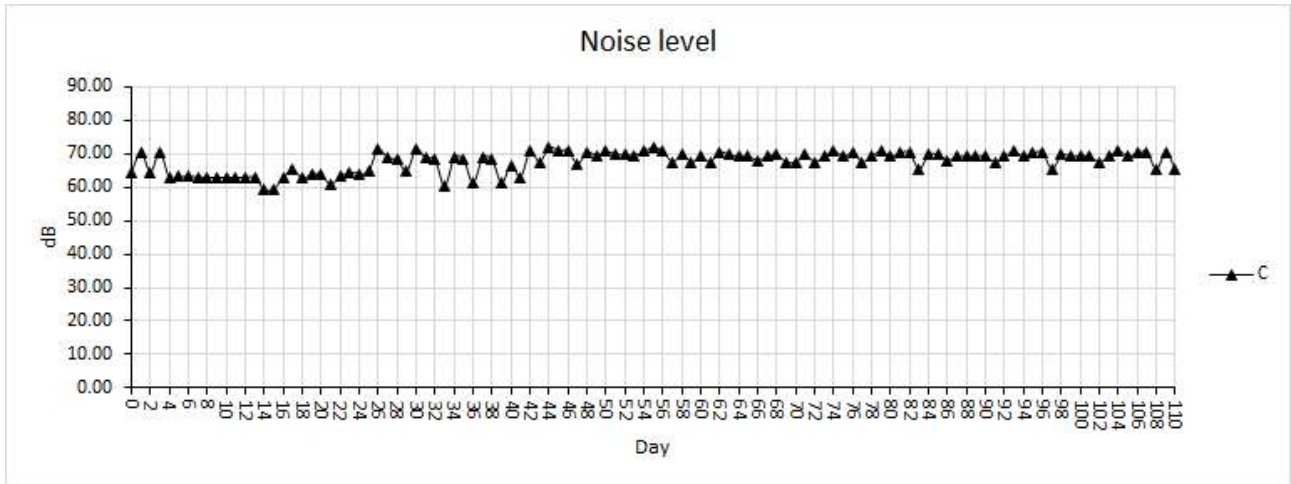
VOA odor	A inside	A out
AA	32.61	32.58
PA	0.00	5.88
nBA	17.43	0.73
BA	0.01	0.00
nVA	0.17	4.56
VA	31.64	29.84
P-CRESOL	0.00	0.00
INDOLE	0.56	0.00
SKATOLE	0.00	0.00
mm	0.00	0.00
DMS	2.44	2.93
DMDS	0.00	0.00
Total VFA	81.86	73.60
Total Phenol	0.56	0.00
Total Sulfuric	2.44	2.93
Total VOA	84.86	76.53

- 모형돈사C 평균 휘발성 유기산(VOC) 경시적 악취 농도는 [표 3.12]와 같다. 모형돈사C 주된 악취는 약 81.86 ppbv인 휘발성 지방산(VFA) 악취 화합물이며, 두 번째 2.44ppbv 황화합물, 페놀악취, 약 0.56 ppbv 순(順)으로 나타났다. 바이오필터 시스템 이후, 총휘발성 유기산 악취화합물은 초기 농도인 84.86 ppbv에서 76.53ppbv ( $p < 0.05$ )로 약 9.8 % 삭감되었다.



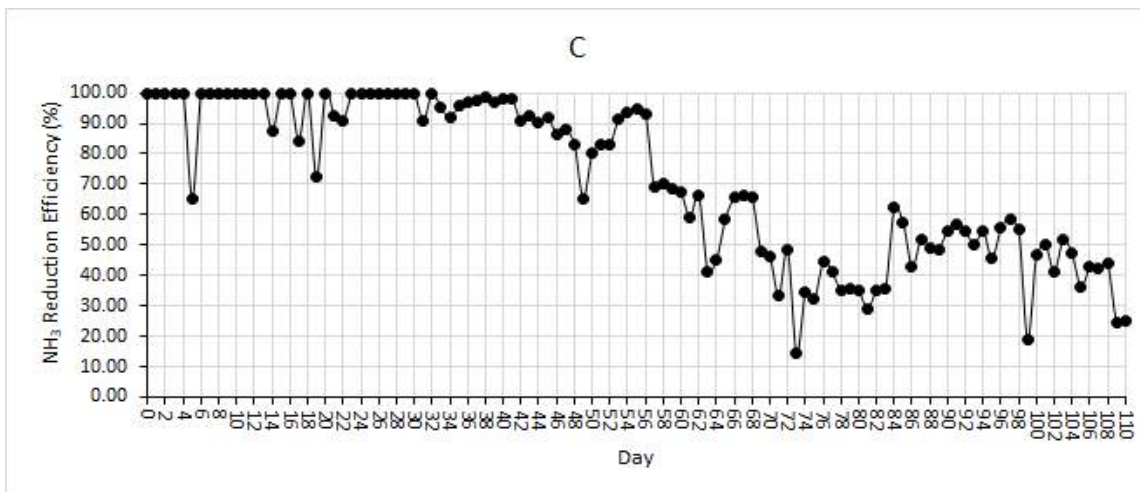
[그림 3.103] 모형돈사 C의 미세먼지 농도

- 모형돈사C 미립자 농도는 [그림 3.103]과 같다. 분석결과, 모형돈사C PM10농도는 312.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 164.29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 농도보다 높게 관찰되었다.



[그림 3.104] 모형돈사C의 실내 소음수준 경시적 변화

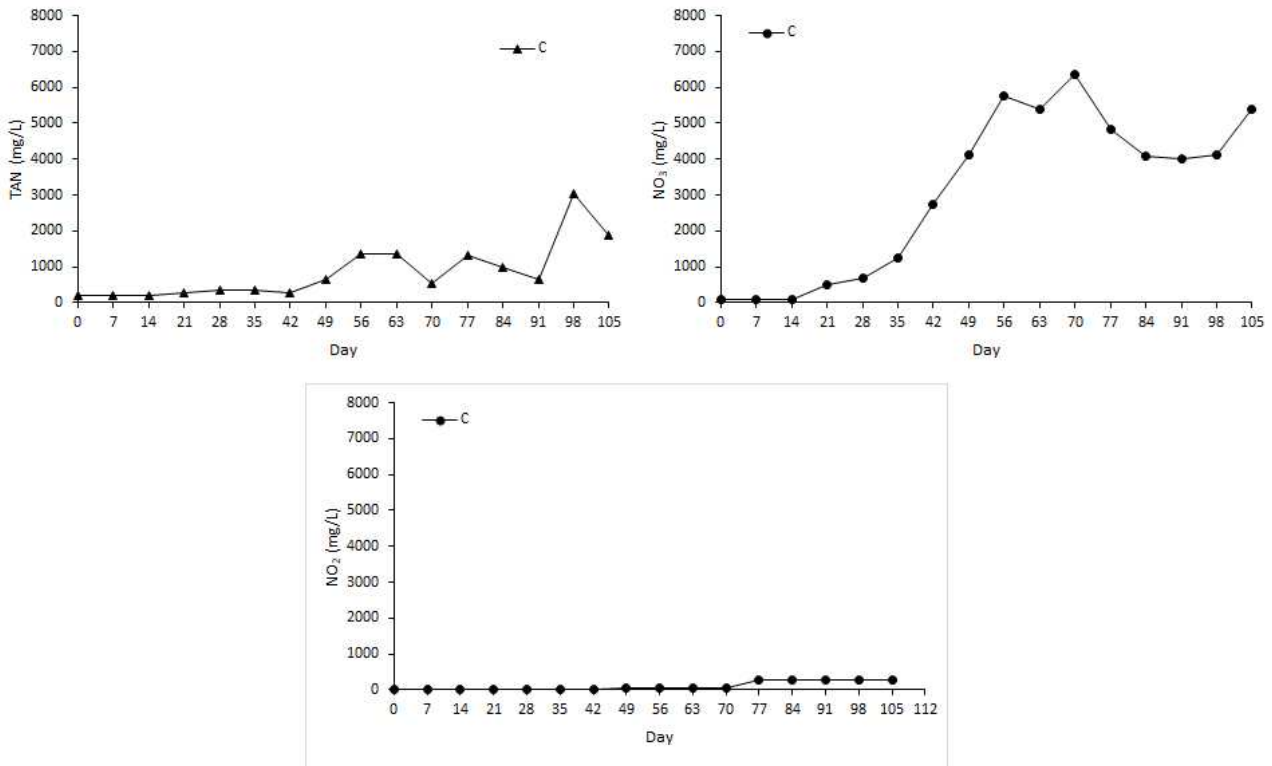
- 실험 중 모형돈사C 내 소음수준은 [그림 3.104]와 같다. 소음수준은 59.37~71.93dB 범위로서 정온한 상태이었다.



[그림 3.105] 모형돈사C의 경시적 암모니아 삭감효율 변화

- 실험 기간 동안 모형돈사C 경시적 암모니아 삭감효율 [그림 3.105]와 같다. 바이오필터의 삭감효율은 실험 기간 동안 실험46일까지 삭감율 80% 이상 수준 범위에서 상대적으로 일정하게 지속되었다. 실험1일~실험30일 삭감율이 거의 100%이었고, 사육56일 후 약 80% 수준으로 감소하였다. 이러한 조건은 바이오필터 교체 때문으로 판단된다. 첫 번째 바이오필터는 biochar와 FGD-gypsum의 보조첨가제를 사용했으며 두 번째 바이오필터 매질(媒質)은 톱밥 재료만 사용했다. 바이오필터 매질 교체는 바이오 필터 매질에 서식하고 있는 미생물 활동에

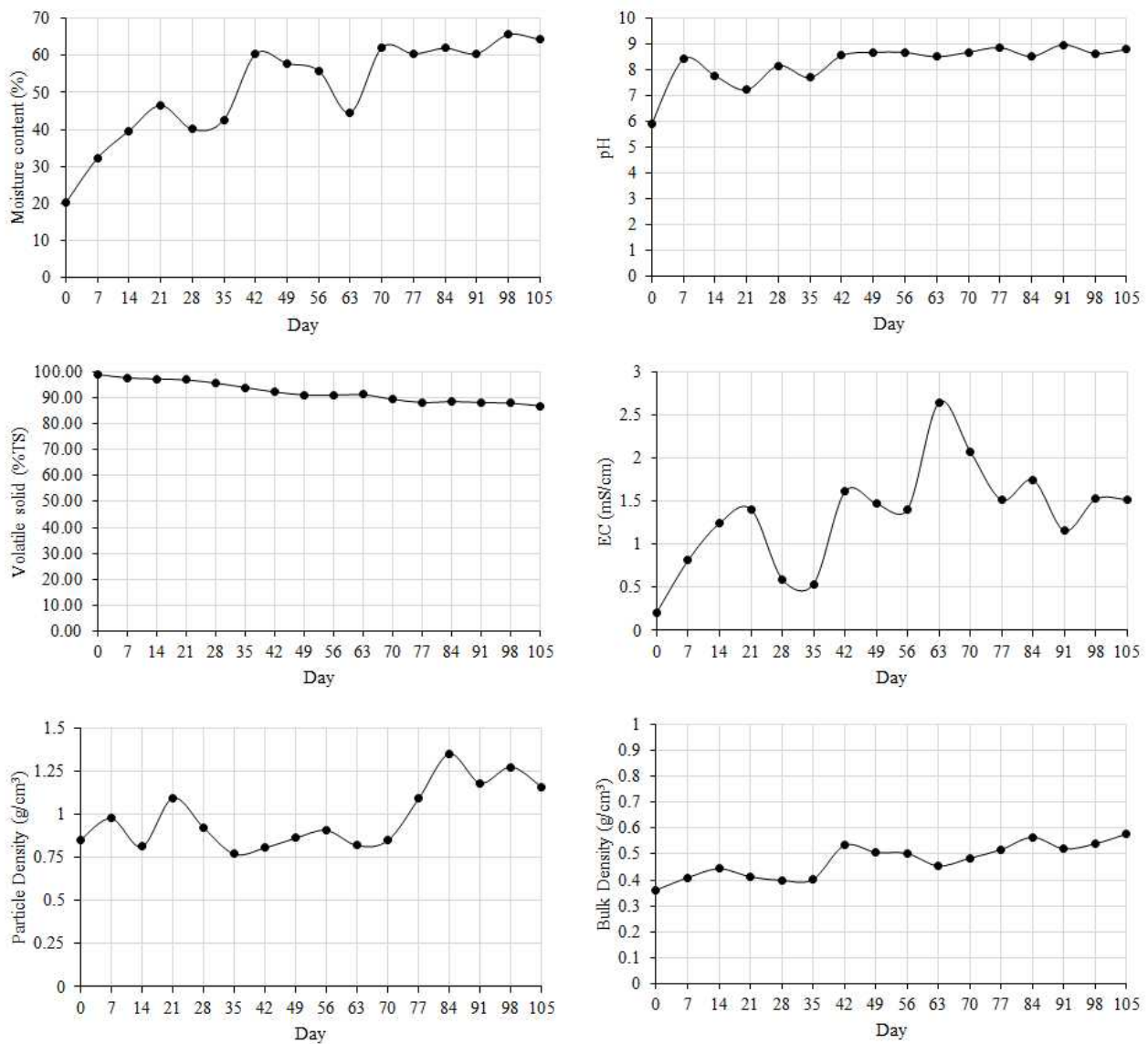
도 영향을 미쳤다. 시간이 경과한 후에 재순환수가 암모니아로 포화되었을 때 감소 효율은 떨어지지만 바이오필터 패드에 미생물 바이오매스가 안정적으로 성장하고 밀도가 높아지면 암모니아를 흡착관리할 수 있다. 본 연구에서 순환수를 교체하는 기간은 1.5 개월 동안 한번 실시되었으나 대규모 시설에서는 상황이 다를 수 있다.



[그림 3.106] 모형돈사 C의 바이오필터 재순환수 질소분율

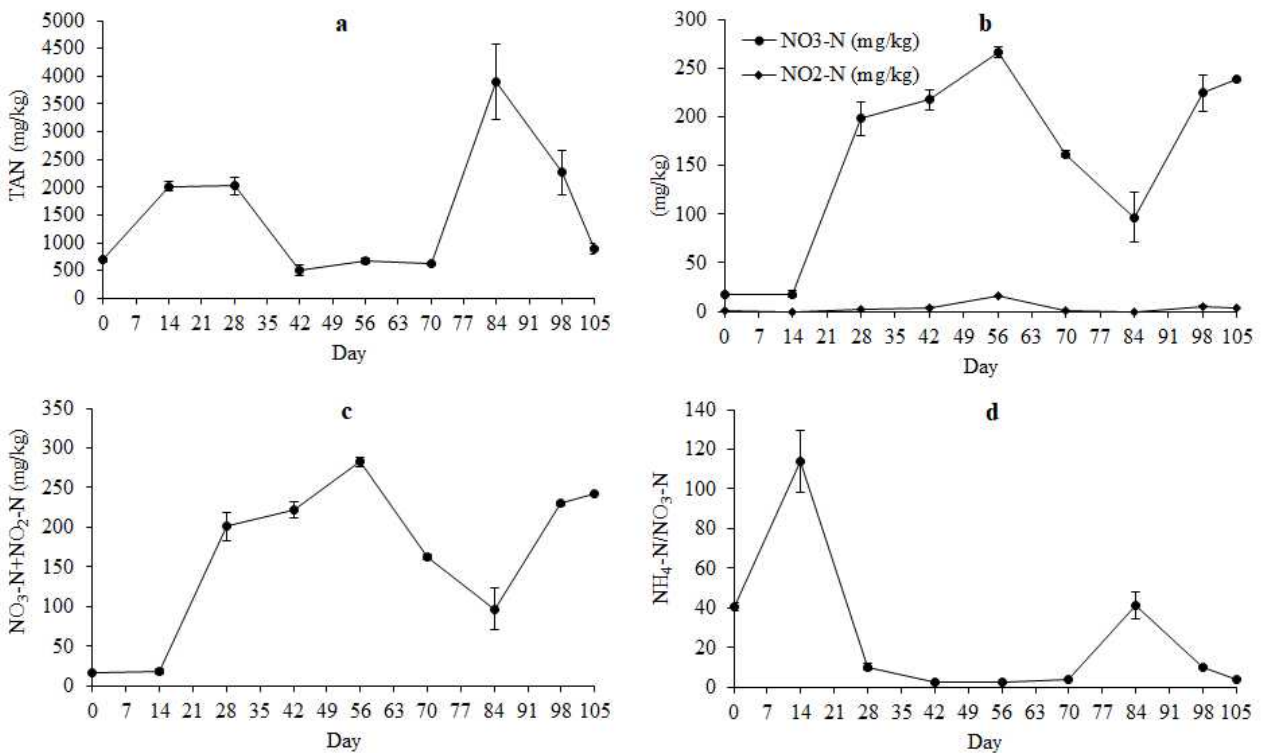
- 실험 중 모형돈사C의 바이오필터를 위한 재순환수의 질소분율은 [그림 3.106]과 같다. 재순환수에서 회석된 총암모니아 질소는 경시적으로 서서히 증가하였다. 이는 가스상의 암모니아가 회석되거나 물에 용존되었음을 나타낸다. 재순환수에서 실험95일 TAN(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>+NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 농도 3,000mg/L이었다. 경시적으로 등락은 있지만 점증하는 추세다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도도 서서히 증가하여 6,367mg/L에 정점에 이른 후 등락을 반복하나 4~5,000 mg/L 수준을 유지할 것으로 판단된다. 이것은 재순환 MBR수의 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 뿐만 상대적으로 낮고(<100mg/L), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도가 0~5,000mg/L이르는 것으로 보아 수처리공정 중 질산화(nitrification)가 양호하게 진행되고 있다 판단된다.
- 실험 중 모형돈사 C의 바이오필터 재순환수의 이화학적 특성은 [그림 3.107]과 같다. MBR pH는 6.32~7.91 범위로서 적정 pH를 유지하였다. MBR 처리수의 pH가 낮은 것은 지하 MBR수조 속 산소가 한정되어 발효(fermentation)가 일어났기 때문으로 이해된다. MBR 재

순환수에 암모니아 질소가 축적된 후 pH는 계속 상승한다. MBR 재순환수의 EC는 실험 기간 동안 점차적으로 증가하였으며, 실험105일에 22.47mS/cm로 가장 높았다가 이후 급감했다. EC의 점진적인 증가는 EC값에 기여하는 암모니아 질소 축적 때문으로 판단된다. 또한 바이오필터 매질로부터 떨어지는 미립물질은 물론 공기에 의해 유입된 사육실 내부로부터의 미립 물질도 MBR의 EC증가에 기여할 수 있다. 이는 500ppm 수준으로 점증하는 총 용존고형물(TDS)에 의한 듯하다. MBR 재순환수의 용존산소 농도(DO)는 10.71~16.58mg/L 범위로 상당히 높게 분석되었다.

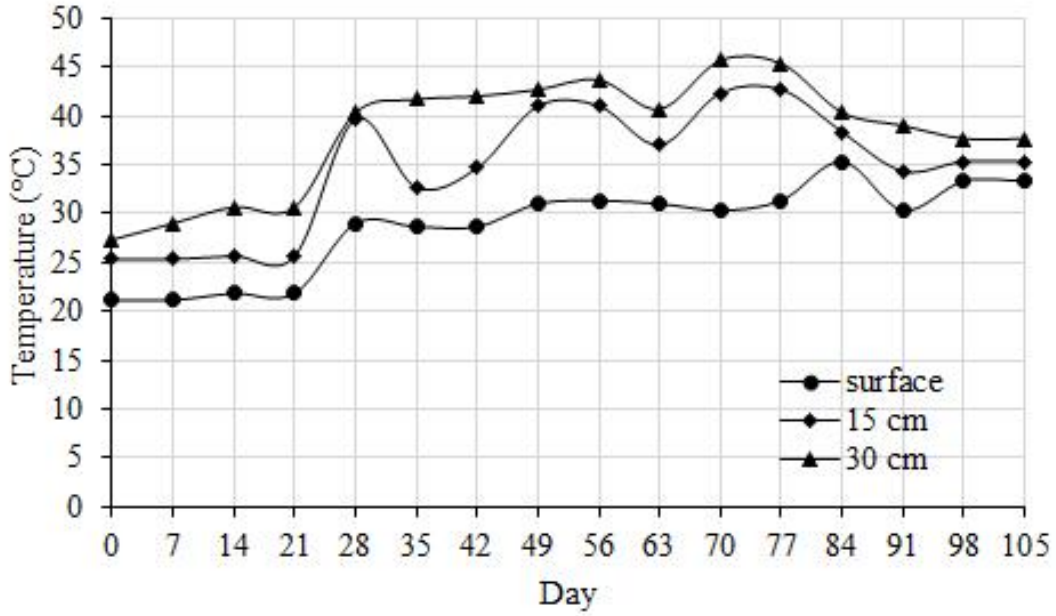


[그림 3.107] 모형갈개돈사C의 톱밥갈개 이화학적 특성

- 모형돈사C 톱밥 이화학적 특성은 [그림 3.107]과 같다. 깔개의 휘발성 고형물(VS)은 시간이 지나면서 점차 감소하였다. 이는 깔개에 함유된 혼합물(유기물) 분해과정 때문이다. 또한, 돼지분뇨 미량원소의 축적이 깔개재의 휘발성 고형물 비율을 감소시키는데 기여했을 가능성이 있다.
- 실험 기간 동안 깔개 혼합물의 총암모니아 질소 (TAN), 아질산염, 질산염 및 암모늄 질산염 비율은 [그림 3.108]과 같다. TAN농도는 사육14일~사육28일, 사육84일에 최대 수준으로 증가했다. 이는 깔개혼합물에 흡착된 암모니아 축적이 해당 일에 일어남을 의미한다. TAN의 축적은 공기 중 암모니아나 깔개혼합물에서 진행되는 생분해 과정의 영향에 기인 할 수 있다. [그림 3.108]의 데이터에 따르면, TAN의 경향은 질산, 아질산염 농도의 반대 경향을 보였다. TAN이 증가하면 아질산, 질산염 농도는 감소하였다. 이 상태는 깔개재 혼합물의 질산화 과정과 관련이 있을 가능성이 높다. 암모니아는 질산염으로 전환되므로 TAN 농도가 감소하는 동안 질산염 농도가 증가한다.

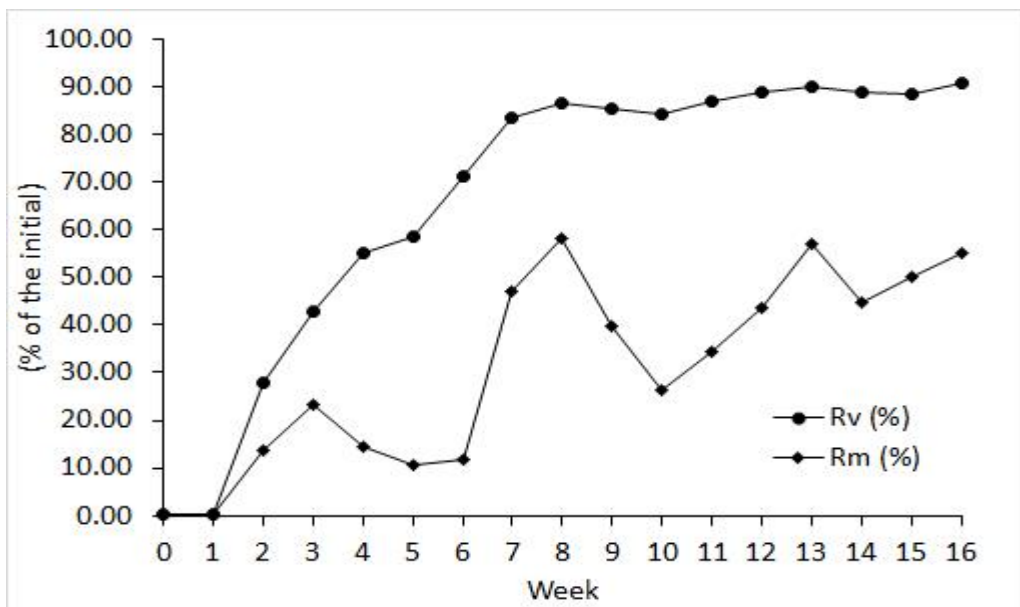


[그림 3.108] 모형돈사 C (a) 총암모니아 질소 (TAN) (b) NO<sub>3</sub>-N : NO<sub>2</sub>-N (c) NO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N (d) NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N



[그림 3.109] 모형돈사 C의 톱밥층 온도분포

○ 톱밥갈개재 온도는 유기물 분해로 인한 발열반응 (exothermic heat)으로 경시적으로 증가한다. 톱밥과 혼합되는 돼지분뇨의 축적으로 인해 C/N비율이 퇴비 생산공정에 이상적인 조건으로 저감되며 organotroph 미생물 먹이를 제공한다. [그림 3.109]에서 보듯이 톱밥표면-15cm깊이=Δ5°C, 15cm깊이-30cm = 2°C 온도차가 관찰되었다. 이는 겨울철에는 미생물의 유기물 분해로 인한 발열이 가온에 도움이 되지만 혹서기에는 냉각을 위한 보조열 공급이 필요하므로 톱밥돈사의 설계는 매우 정밀해야 한다.



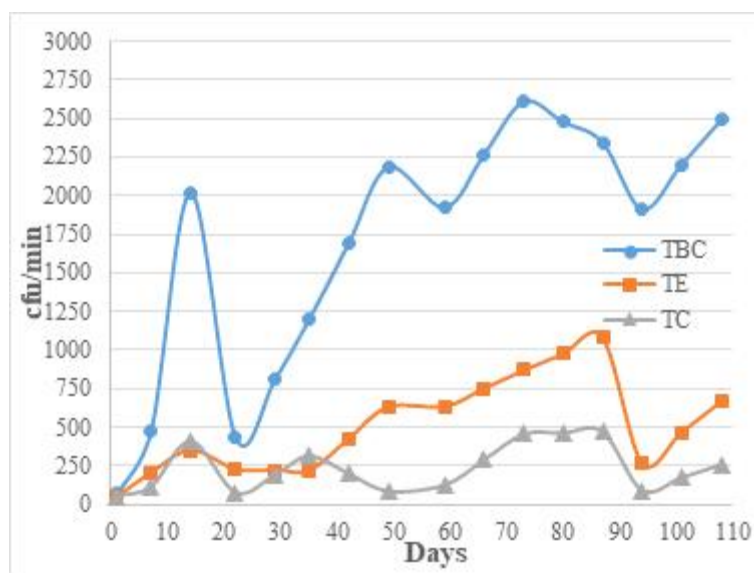
[그림 3.110] 모형돈사 갈개층의 경시적 체적감소와 질량감소



○ [그림 3.110]은 모형돈사C 톱밥갈개 부피감소 (Rv)와 질량감소 (Rm)를 나타낸 것이다. 돼지 사육기간 동안 갈개 양과 질량 모두 감소하였다. 실험16주 갈개재 부피감소는 90%에 이른다. 톱밥바닥재 부피감소는 사육기간 동안 유기물 분해과정에 의한 톱밥입자 축소와 돼지의 톱밥층 다짐에 의하여 부피감소가 일어날 수 있다. 돼지 사육16주까지 갈개재료 질량감소는 약 50%이었다. 질량감소는 생분해 (퇴비화) 공정의 영향을 받는 갈개재료 수분 증발 뿐만 아니라 유기탄소 물질 소실로 이해된다. 그림3.41에 제시한 정보를 바탕으로 갈개재를 최적 관리 방법을 도출할 수 있다. 톱밥을 갈개재료로 정기적으로 보충첨가하는 것은 흡착에 의한 악취 감소 뿐만 아니라 갈개재의 퇴비화과정을 촉진할 수 있다. 또한 돼지 사육기간 동안 갈개층 경운(耕耘)은 작업시간이 많아지고 경운시 분진으로 인한 돼지 병원성 오염 증가할 수 있기 때문에 톱밥갈개돈사 적용시 검토해야 할 사안이다.

○ 부유세균 (Microbes) :

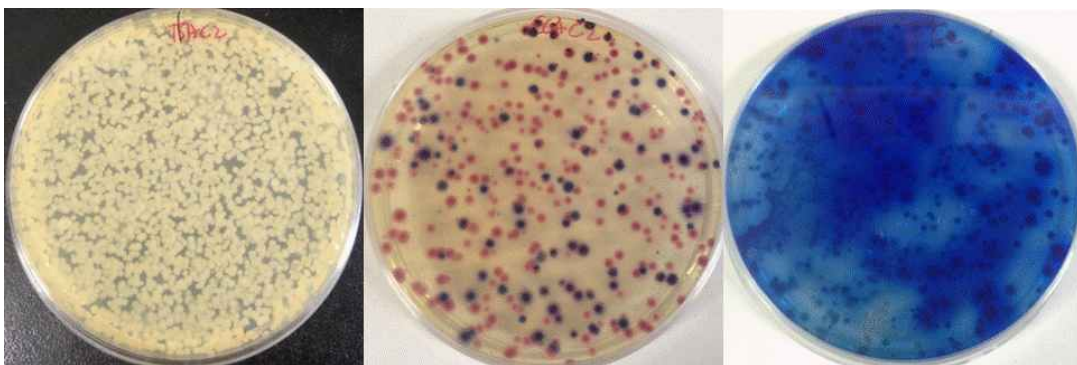
가. 총세균수 (TBC), 총대장균 (TE) 및 총분변균 (TC)과 같은 부유세균을 분석하여 공기의 질 및 환기 효율 검증실험을 수행하였다. 공기 중 세균은 표준 페트리 접시 (90~15 mm, SPL Life Sciences, Pochun-si)를 사용하여 plate settling 방법을 사용하여 측정하였으며, TBC의 열거를 위해 Tryptic soy agar (Merck)를 사용하였다. Chromocult Coliformen agar (Total Merck)를 대장균 (Total *E. coli*, TE)에 사용하였고 MFC 한천을 대변 대장균 (TC) 계수에 사용하였다. 샘플링 후 실험실에 옮겨 TBC를 위해서는 37℃에서 24 시간 동안, TC와 TE를 위해서는 48시간 동안 배양하였다 colony를 세팅 분당 colony형성 단위 (cfu/min)로 카운트하고 계산하였다.



[그림 3.111] 모형돈사 C의 경시적 공기 중 부유세균

나. [그림 3.111]은 모형돈사C 공기 중 부유세균 존재를 나타낸다. 모형돈사A, 모형돈사B 유사하게 총세균수 (TBC), 대장균수 (TE), 총 대장균 군 (TC) 순(順)으로 밀도가 높았다. TBC는 TBC, TE, TC 및 기타 공기 중 미생물로 구성되며 그 양은 TE, TC보다 유의적으로 높았다. 돈사에 존재하는 공기 중 미생물은 돼지 분변물질, 사료 및 식수의 토착 미생물, 또는 돼지 피부편, 바닥재 또는 작업인에게 부착된 미생물에서 유래할 수 있다. 실험1일에는 거의 공기 중 미생물은 존재하지 않았다. 실험14일에 실험1일과 비교하여 현저하게 증가한 반면, 실험14일 이후에는 모형돈사C 돈사 환기시스템 보완으로 환기율이 높아져 대기 중의 미생물 농도가 낮아졌다. 그러나 사육21일 이후에 모형돈사 C의 공기 중 미생물 밀도가 상당히 증가하였다. 바닥 깔개재의 톱밥이 상대적으로 높은 유속으로 상상부 공기 중으로 분산 미생물이 유입되어 높아진 듯하다.

다. 모형돈사C 공기 중 세균밀도는 [그림 3.112]와 같이 정상(定常) 상태에 이르지 못하였다. 모형돈사C 공기 중 세균밀도는 환기시스템이 비슷한 모형돈사A, 모형돈사 B보다 훨씬 높았다. 이것은 A와 B는 슬러리 피트 시스템이나 C는 톱밥깔개돈사 이기 때문으로 판단된다. 모형돈사A와 B에서는 슬러리 저류 시스템이 분리되는 반면 C는 돈분뇨가 톱밥과 혼합되어 분진화 된다. 이것은 돼지가 매우 활동적일 때 특히 돈분이 깔개로 전바닥에 분산되며, 이에 따라 세균도 쉽게 공기 중으로 발산된다. 이는 A, B와 비교하여 C는 높은 밀도의 부유세균을 함유하는 이유이다.



[그림 3.112] 모형돈사C 부유세균 밀도 (左) TBC, (中) TE (右) TC

#### (4) 모형돈사의 자연광 적용이 미세환경에 미치는 영향

- 본 실험에서는 자연광시스템을 유무가 돼지의 성장에 미치는 영향을 구명하기 위하여 control(對照區)로서 모형돈사A, Treatment (處理區) 모형돈사 B와 C에 설치하였다. 특정 과장대의 관행적 전등보다는 자연광은 면역성을 제고(提高)할 수 있으리라는 복지적 측면에서 실험하였다.



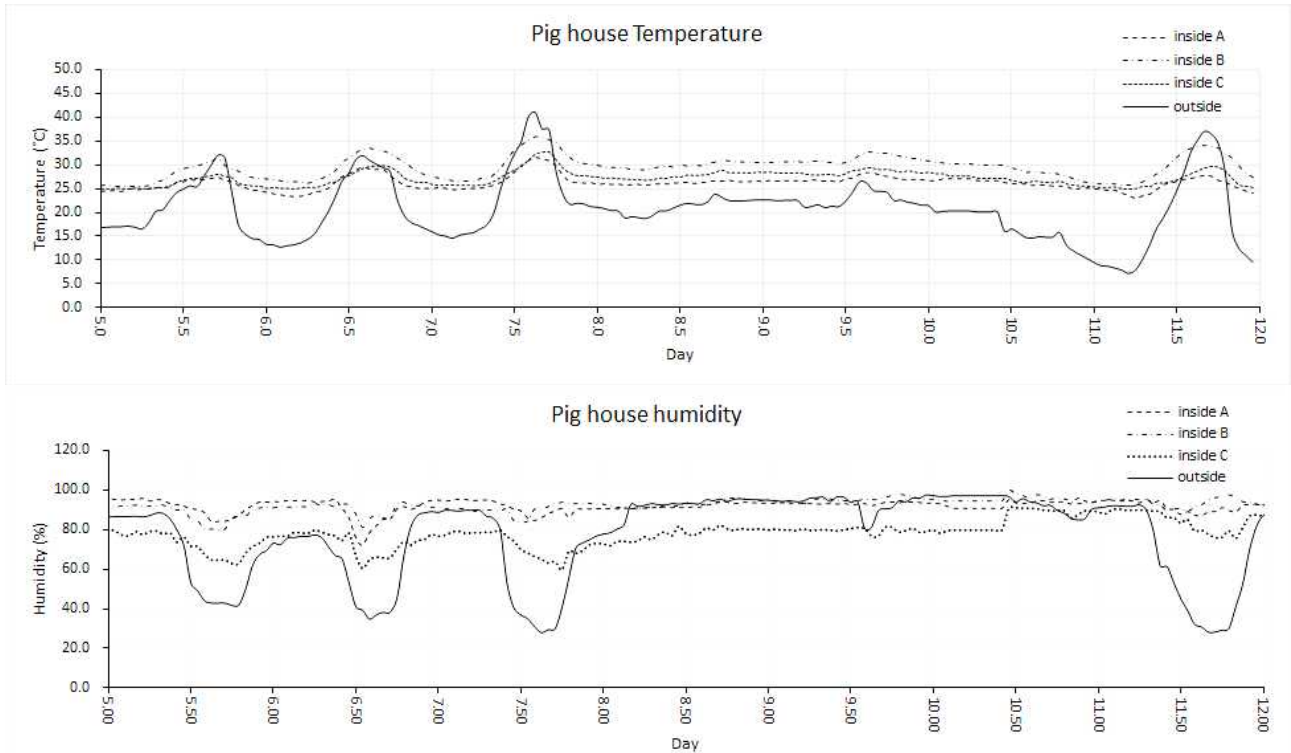
[그림 3.113] 모형돈사 B 자연광시스템 실상도



[그림 3.114] 모형돈사 C 자연광시스템

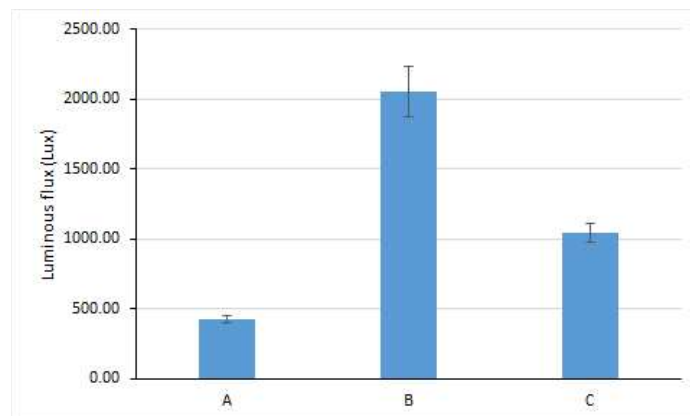
- 모형돈사 B, C 자연 채광시스템은 각각 [그림 3.113], [그림 3.114]와 같다. 자연채광 유무(有無)가 환경과 복지에 미치는 영향을 비교하기 위하여 대조구로서 A모형돈사에는 자연채광설비를 하지 않았다. 자연 채광시스템(W社)은 500mmx500mm 정방형으로 모형돈사 지붕에 설치하여 하였다. 시스템의 상부는 유리 재질로 만들어졌고, 돈사안쪽에는 특정무늬의 플라스틱 재료로 만들어졌다. 특정한 패턴은 들어오는 햇빛을 사육실에 고르게 분산시키도록 만들어졌다.
- 그림 3.115]은 자연채광 시험 중 모형돈사 내부의 온도 및 습도를 변화를 관찰한 결과이다. 온도, 습도는 B, C 모형돈사가 A모형돈사보다 전반적으로 높았다. 자연 채광시스템 적용이

모형돈사의 온도를 높이는 데 영향을 줄 수 있다. 특히 여름철 강한 복사열이 바로 실내로 조사(照射)된 때문으로 여겨진다. 자연 채광시스템을 채택한 돈사는 그렇지 않는 돈사보다 평균 4.5 °C 정도 높았다. 자연채광 하나만으로 이 정도의 온도상승효과가 있다면 겨울철에는 상당한 가온(加溫)효과가 있을 것으로 여겨진다. 이의 정량화는 또 다른 연구주제이다.



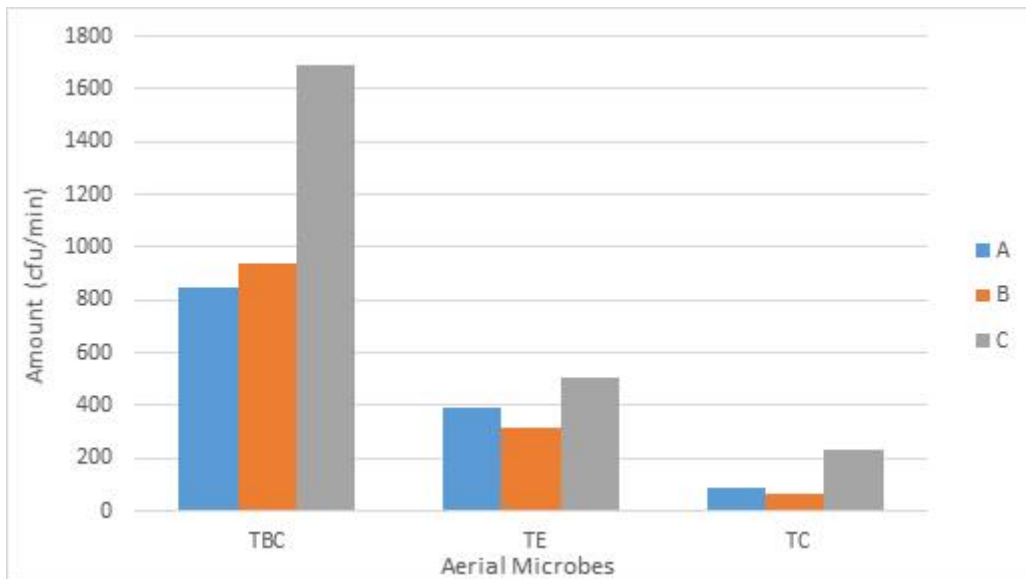
[그림 3.115] 외기온에 따른 모형돈사 A, B, C의 온도, 습도 경시적 변화

○ 분석결과, 동일 피트시스템이라 하더라도 채광 모형돈사B의 습도는 모형돈사A보다 높았다. 이는 실내 온도가 높아지기 때문에 피트 슬러리 증발 속도를 증가하였기 때문으로 설명할 수 있다. 자연광 시스템 적용으로 인한 고(高)온도화는 겨울철에는 가온(加溫)에 도움이 되나 여름철에는 냉각부하가 커질 수 있다.



[그림 3.116] 자연 채광시스템의 설치유무가 도(照度)강도에 미치는 영향

- [그림 3.116]은 자연 채광시스템의 적용에 영향을 받는 돈사의 광강도를 나타낸다. B형 모형돈사는 2,054.70 Lux의 광(光)강도를 가졌으며 C모형돈사(1,043.32), A형 모형돈사 (422.59 Lux),보다 유의적으로 높았다. B형 모형돈사의 태양광에 직접 노출되는 위치에 있어 광도가 높았다. C형 모형돈사는 태양 광선의 입사각(入射角)으로 돈사 지붕에 직접 닿지 않고 나무그늘 때문에 낮았던 것으로 여겨진다.
- [그림 3.117]은 자연광 적용 시 모든 모형돈사의 미생물 농도를 나타낸다. B, C는 자연채광 시스템을 사용하는 반면 A는 형광 램프만을 사용하였다. [그림 3.117]에서 B와 C의 공기 중 부유미생물이 A보다 높았다. 이것은 B와 C에서 고(高)광도가 세균사멸의 원인일 수 있다. 고광도는 돼지를 활동적으로 유도하여 공기 중 미생물을 발산시키는 결과를 가져올 수 있다. 이것은 B, C에서 높은 공중 미생물 농도는 돼지의 활동성과 상관을 추정할 수 있다.



[그림 3.117] 자연채광 모형돈사의 부유미생물

- 또한 C는 B보다 부유 미생물 농도가 높았다. B는 분뇨제거를 위해 피트시스템을 사용하는 반면, C는 톱밥갈개를 사용하였다. 갈개재로서 톱밥은 피트 시스템보다 공기 중 발산이 쉽다. 왜냐하면 피트시스템은 분뇨가 돼지와 분리되어 저류되는 반면 갈개시스템은 분뇨와 톱밥이 혼합되어 돼지와 직접 접촉하기 때문에 부유미생물 발산이 높다.
- 또한 톱밥갈개는 돼지의 활동을 증가시킨다. 이 재료는 파기, 걷기 등과 같은 자연스런 돼지습성을 유발하는 풍부(enrichment)재료이기 때문이다. 이로 인해 더 많은 미생물이 쉽게 공기 중으로 분산된다.

(5) 미생물 군체가 악취저감에 미치는 영향

○ 미시판(未市販) 일반미생물제는 돼지의 가축 활동으로 인한 악취를 줄이기 위해 시용(施用)되었다. 미생물 제제(製劑)는 고상(분말)형태와 액상형태의 두 종(種)으로 제공되었다. 고상 미생물제를 C모형돈사 (톱밥 깔개)에 혼합하고 액상 미생물제를 B 모형돈사에 피트에 살포하였다. 기본적으로 사육실에 입식하기 전 고상 미생물제와 톱밥재와 혼합하였으며, 액상 미생물제를 분무형태로 돈사내 살포하였다. 액상원액을 20배 물로 희석하여 바닥에 분무하였다. 미생물제 살포 후 돈사내부에서 발생하는 악취를 분석하였다. 모형돈사B와 모형돈사C는 수도물로 1:20v/v 희석한 액상 미생물제로 처리하였다. 적용 방법은 미생물제를 돈사 내 공기 중에 1 liter/m<sup>3</sup>으로 분사(噴射)하였다. 적용회수는 3일까지 매일1회 이었고 14일까지는 매 3 일마다 한 번씩 살포한 다음 30일까지는 1주일에 1회 사용하였다.

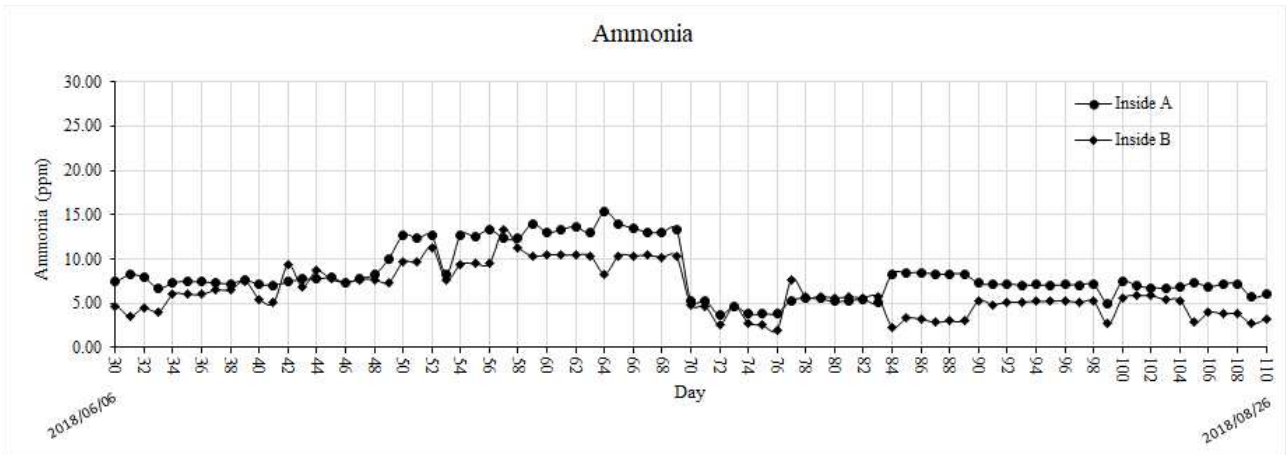


[그림 3.118] 모형돈사B 미생물제 제조 및 살포과정



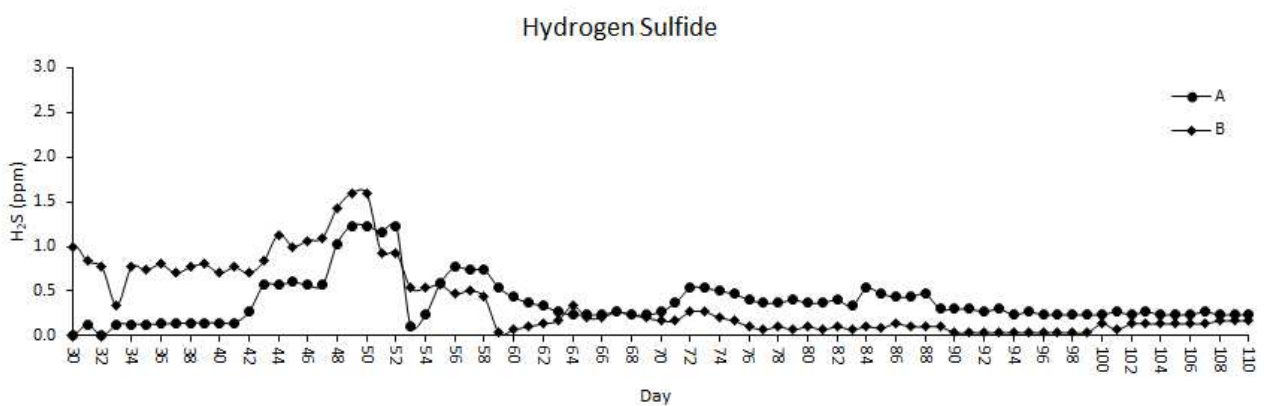
[그림 3.119] 모형돈사C의 고상 미생물제 혼합과정

- 미생물제는 처리구 모형돈사 B, C에 일정 투여량 분무방식으로 살포하거나 혼합하였다. 미생물제는 돈사에 살포 전 먼저 1:20v/v 물로 희석하여 1l/m<sup>2</sup>로 살포한다. 미생물제 희석 및 그 적용 실상은 액상 [그림 3.118], 분말 [그림 3.119]와 같다. 미생물제 자체는 돼지 활동에서 배출되는 악취를 감소시키는 기능을 하는 미생물군체(群體)로 구성되었다.



[그림 3.120] 미생물제 무살포(A), 살포 (B) 경시적 암모니아 농도 변화

- 미생물제 처리를 모형돈사B와 무처리A의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 농도의 경시적 변화는 [그림 3.120]과 같다. 일반적으로 B모형돈사 암모니아 농도는 A보다 낮았다. 미생물제의 시용(施用)은 모형돈사B의 암모니아 농도를 통계적으로 유의수준에서 감소하였다( $p < 0.05$ ). 미생물제 시용 후의 평균 암모니아 농도는 평균 약 10.18ppm이었고, 미생물제 처리하지 않은 모형돈사A의 암모니아 농도는 평균 약 12.92ppm이었다. 미생물제 처리한 모형돈사B에서 발산한 암모니아는 미생물제 처리하지 않은 A와 비교하여 약 21.2 % 감소하였다.



[그림 3.121] 모형돈사B(처리)와 A(무처리)의 황화수소 농도변화

- 모형돈사A, B의 경시적 황화수소 농도 변화는 [그림 3.121]과 같다. 황화수소는 박테리아 황산염 환원과 혐기조건 하에서 배설물에 함유된 황 함유 유기화합물 분해에 의해 생성된다. 모

형돈사A 최대 황화수소 농도는 1.5 ppm으로 관찰되었으나 최대 권장 수준인 황화수소 농도 3ppm보다 여전히 낮았다.(Chastain, 1999)

- 미생물제 시용20일(=실험50일) 후에는 B모형돈사 내부의 황화수소 농도가 0.5ppm 이하로 감소하였으며 미생물제 무처리 A모형돈사보다 황화수소 농도가 유의적 낮았다 ( $p<0.05$ ). 미생물제 시용효과는 시용40일후 (=실험70일)에 모형돈사A,B 황화수소 농도는 엇비슷하였다. 미생물제는 70일 동안 계속 시용하였고, 시용78일 이후에는 B모형돈사의 황화수소가 A보다 낮게 나타났다.
- 모형돈사A,B의 황화수소(H<sub>2</sub>S) 농도의 차이가 높게 나오는 것은 B에 미생물제를 시용한 때문으로 이해된다. 미생물제의 시용은 슬러리에서 황산염 환원박테리아를 억제함으로써 H<sub>2</sub>S의 방출이 낮아진 것으로 이해된다.

[표 3.13] 미생물제 시용후 모형돈사별 VOA 약취농도

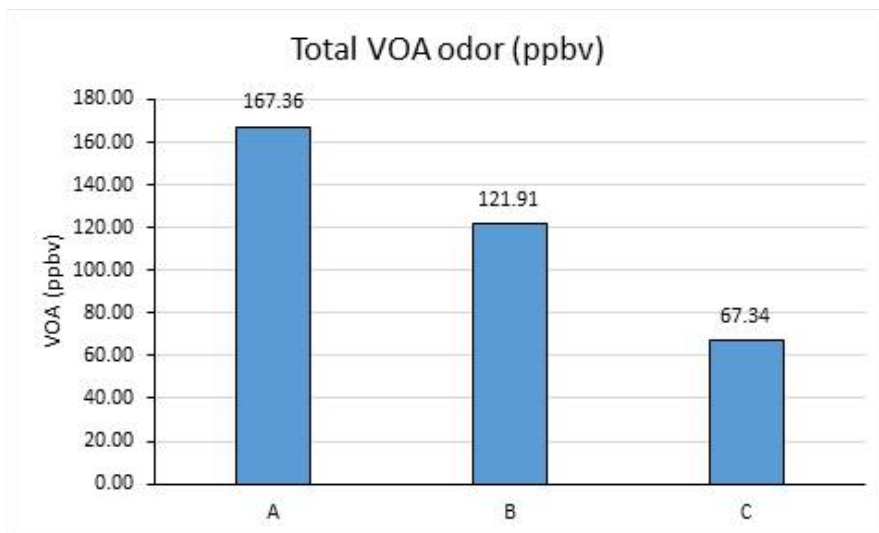
VOA odor	A	B	C
AA	23.42	27.42	14.47
PA	15.06	13.11	0.00
iBA	1.93	1.53	29.04
BA	6.73	5.35	0.02
iVA	2.90	2.41	0.28
VA	86.65	67.37	21.58
p-CRESOL	0.00	0.00	0.00
INDOLE	0.26	0.00	0.00
SKATOLE	0.00	0.00	0.00
mm	0.00	0.00	0.00
DMS	27.76	2.61	1.94
DMDS	2.66	2.12	0.00
Total VFA	136.69	117.19	65.39
Total phenolic odor	0.26	0.00	0.00
Total sulfuric odor	30.42	4.73	1.94
Total VOA odor	167.37	121.92	67.33

- [표 3.13]은 미생물제 적용 후 평균 휘발성 유기산(VOA) 약취를 나타낸 것이다. 표3.5에 제시된 자료에 따르면, 휘발성 유기산 약취(VOA)는 미생물제 무처리A와 미생물제 처리B, C보다 높게 분석되었다. A모형돈사의 약취는 VFA약취 (136.69ppbv)가 가장 높았으며, B



(117.19ppbv), C(65.39ppbv)보다 유의적으로 높았다 ( $p<0.05$ ). 미생물제로 인하여 돈사 VFA 악취 배출을 14 % 저감시킬 수 있다.

- 미생물제 처리 모형돈사의 페놀(Phenol) 악취는 미생물제 무처리A보다 유의적(有意的)으로 낮았다 ( $p<0.05$ ). A모형돈사 페놀악취농도는 0.26ppbv이었고, B와 C는 페놀악취 농도가 검출되지 않았다. 미생물제 처리는 페놀악취를 84.45%저감되었다. 페놀악취의 가장 큰 감소효과를 미생물제를 비육사의 깔개 처리돈사에서 아예 zero로 분석되었다. 이는 깔개튐밥의 흡착효과 때문일 수도 있다.
- 미생물제 처리B,C는 황계열 악취는 미생물제 무처리 A보다 유의적으로 낮았다 ( $p<0.05$ ). A 모형돈사 황계열 악취농도는 30.42 ppbv이고, B는 4.73 ppbv, C는 1.94 ppbv이었다. 미생물제 처리돈사는 미생물제 무처리 돈사에 비해 황악취를 84.45 % 감소시킬 수 있었다. 본 연구에서 페놀악취 감소가 가장 큰 것은 깔개돈사로서 분명히 페놀악취를 낮다는 것을 보여준다.
- 악취 배출을 줄이기 위한 미생물제 사용방식은 슬러리 또는 깔개재의 과도한 질소화합물과 같은 악취배출과 관련된 유기화합물을 미생물이 대사(代謝)를 활성화 하는 방법으로 설명될 수 있다. 또한, 슬러리 또는 깔개재의 산성도를 낮추면 악취 화합물의 대기발산을 억제할 수 있다. 이러한 조건은 미생물제 사용 후 얼마 간 슬러리 pH가 낮게 분석되는 이유이다.

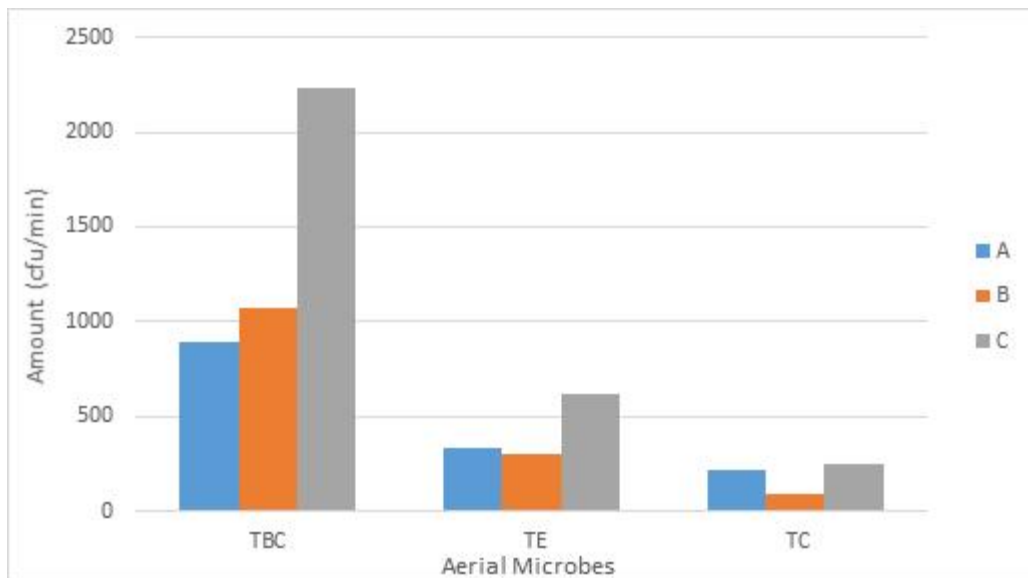


[그림 3.122] 미생물제처리B,C 휘발성 유기산 악취(VOA) 농도비교

- [그림 3.122]는 미생물제 처리 B, C 휘발성 유기산 악취(VOA) 농도를 비교한 것이다. 미생물제 처리(B형, C형) 모형돈사에서 VOA 악취 휘산량은 미생물제 무처리A보다 유의적 낮았다 ( $p<0.05$ ). 미생물제 처리 돈사에 적용한 결과 무처리 돈사, A에 비해 VOA 악취를 27.15%까지 저감하였다. VOA악취는 슬러리 피트시스템, A에서는 167.36ppbv, 121.91ppbv, B로, 튐밥깔개돈사 C에서는 67.34 ppbv로 유의적으로 감소하였다 ( $p < 0.05$ )



[그림 3.123] 모형돈사 공기 중 부유물질 농도 측정



[그림 3.124] 돈사 종별(種別) 부유세균농도

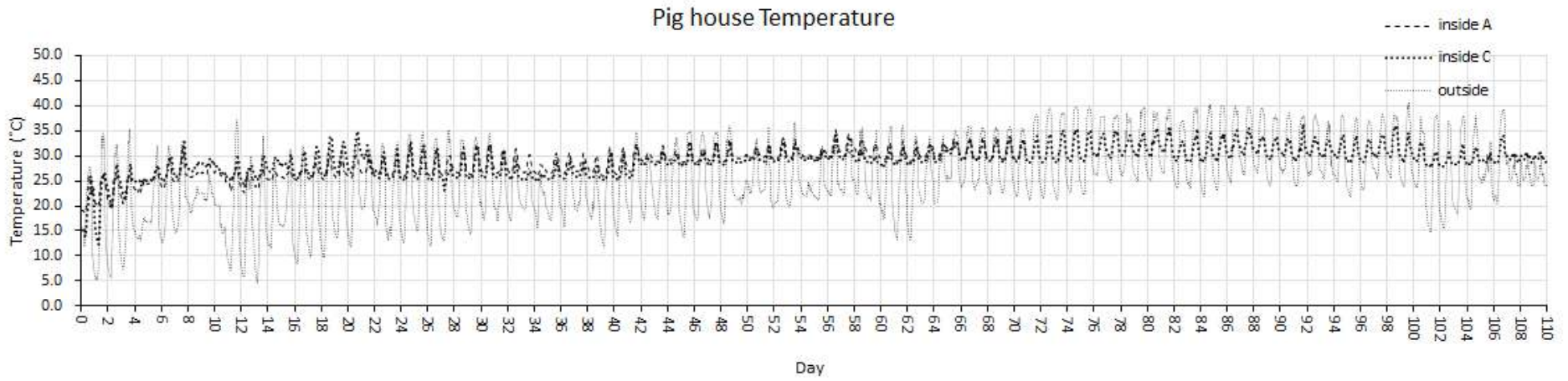
○ [그림 3.124]는 공기중 미생물 계산결과를 나타낸다. 분석결과, 미생물제 시용 B, C 모형돈사에서 보는 것처럼 총세균수가 증가하는 경향이 있다. TBC는 다른 미생물 성장을 촉진하거나, 돈사 내에서 자생세균, 그리고 부유세균 등을 포함한다. 따라서, TBC에 열거된 미생물들

은 미생물제 유래한 것일 수 있다. 그러나 공기 중 미생물 군은 높더라도 돈사 내의 악취는 적었다. 이 조건은 또한 공기 중 미생물은 돈사에서 배출되는 악취와 관련이 있다.

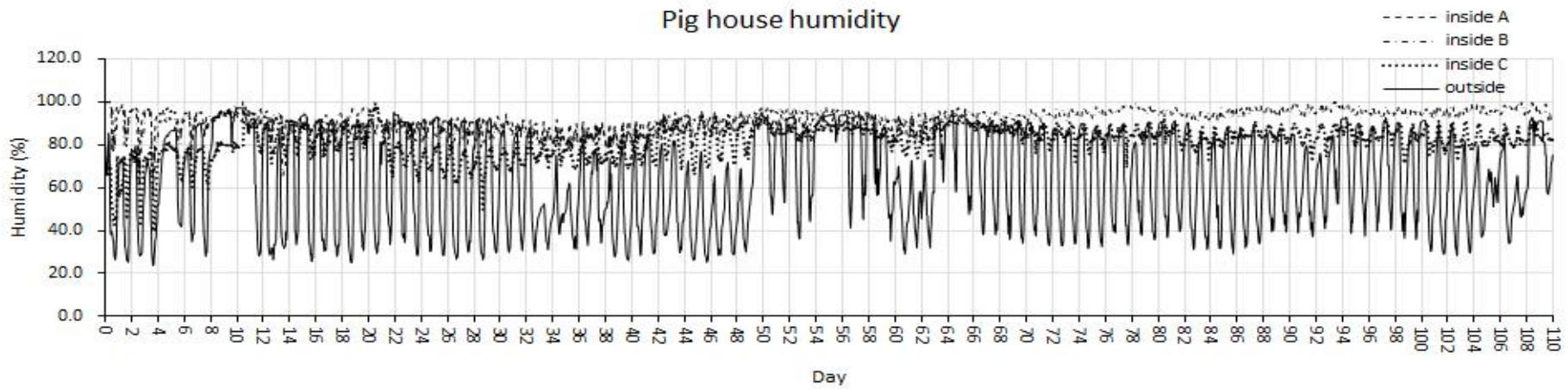
- 그러나 미생물제 시용은 A, C 모형돈사보다 B돈사에서 총대장균 (TE), 총분변균 (TC) 수 감소하였다. 미생물제 적용 후 B돈사에 대한 평균 대장균 및 총세균수는 각각 403 및 87cfu/min이었다. 이는 첨가제가 대장균과 대장균 증식 또는 분산 억제 세균 등을 함유할 수 있음을 나타낸다.

#### (6) 바닥종(種)이 미세환경에 미치는 영향

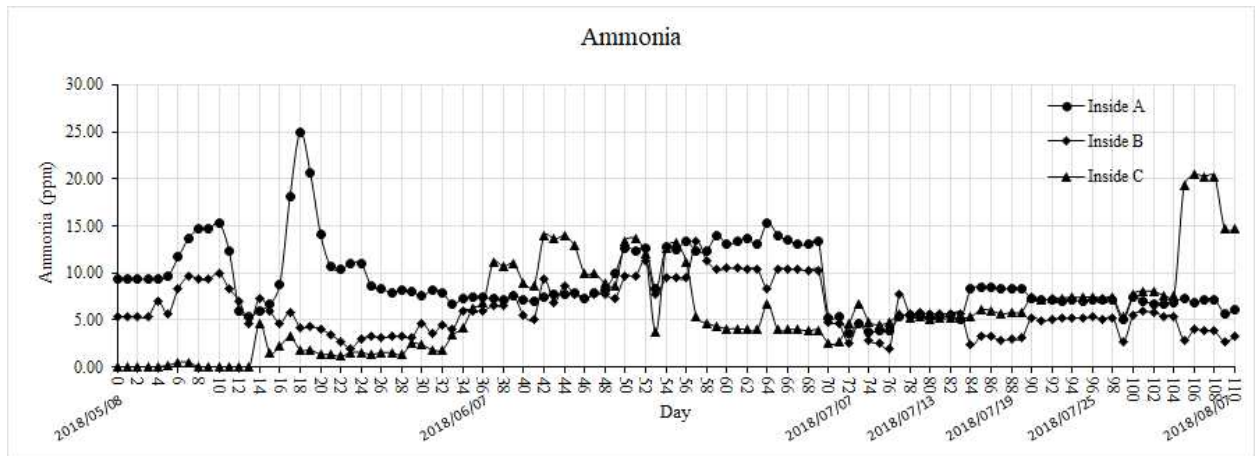
- 바닥시스템 (피트슬랫, 톱밥갈개)이 돈사내부의 미세환경 및 악취환경에 대한 영향을 분석하였다. A, B 바닥재는 플라스틱 슬랫 피트시스템, C는 갈개 바닥시스템이다. [그림 3.125]은 실험 중 사육실 온도를 나타낸다. 동일한 외부 환경조건에서 A 모형돈사의 평균 실내온도는 B 유의적 차이는 없었다 ( $p > 0.05$ ). A, B 돈사 평균 내부온도는 각각 29.2 °C, 29.0°C이었다. ICT 시스템에 의해 기계환기시스템이 정밀제어되었기 때문에 바닥종이 실내 평균온도에는 영향을 미치지 않았다.
- 비록 평균온도 차이는 크지 않지만, A의 주-야간 기온차는 16.43°C, B는 24.13°C로서 주야 온도차는 유의적으로 차이가 분석되었다. ( $p < 0.05$ ). 바닥 종(種)은 주야 온도 차에 영향을 미친다. C모형돈사의 주야 온도차는 A, B보다 더 컸다. 이는 실험첫 주 톱밥갈개가 미생물의 먹이인 분변 유기물이 충분하지 못한 때문이다. 그러나 일정 기간 후 톱밥갈개C의 미생물 발열(發熱)작용 때문에 전일(全日) 바닥온도가 사육실 공기 온도보다 3~4°C 높아 특히 여름철 오히려 갈개층의 온도를 어떻게 낮출 것인가를 고심해야 할 주제이다.
- C모형돈사 낮 동안 사육실 온도는 32°C 이상으로 올라간다. 환기율을 높이기 위하여 배출팬 용량(0.5kw)을 교체하였다. 배출팬 교체 후 C의 실내온도는 다른 돈사보다 낮았다. 그러나 사육일 경과에 따라, C도 실내온도가 다른 돈사보다 약간 높게 관찰되었다. 이는 톱밥갈개의 미생물활동에 따른 발열과정으로 이해된다. 특히 여름철은 톱밥돈사 냉각문제를 해결하기 위한 대책을 마련해야 한다.
- B모형돈사의 상대적 고온은 여름철 강한 자연채광시스템에 의해 인입되는 복사열 때문으로 이해된다. 또한, B는 바닥 피트 배출구를 통해 공기가 배출되는 비회석식 유동이므로 공기 배출 덕트에 의한 압력손실 배출팬 용량 때문일 수 있다.
- C의 습도는 다른 돈사보다 낮았다([그림 3.126]). 갈개톱밥이 공기중 수분을 흡수하여 발생했을 수 있다. A, B 돈사에서는 피트 슬러리가 액체이기 때문에 온도가 올라가면 증발될 수 있으므로 공기 중 습도가 증가할 수도 있다.



[그림 3.125] 모형돈사 바닥 종(種)에 따른 경시적 온도변화



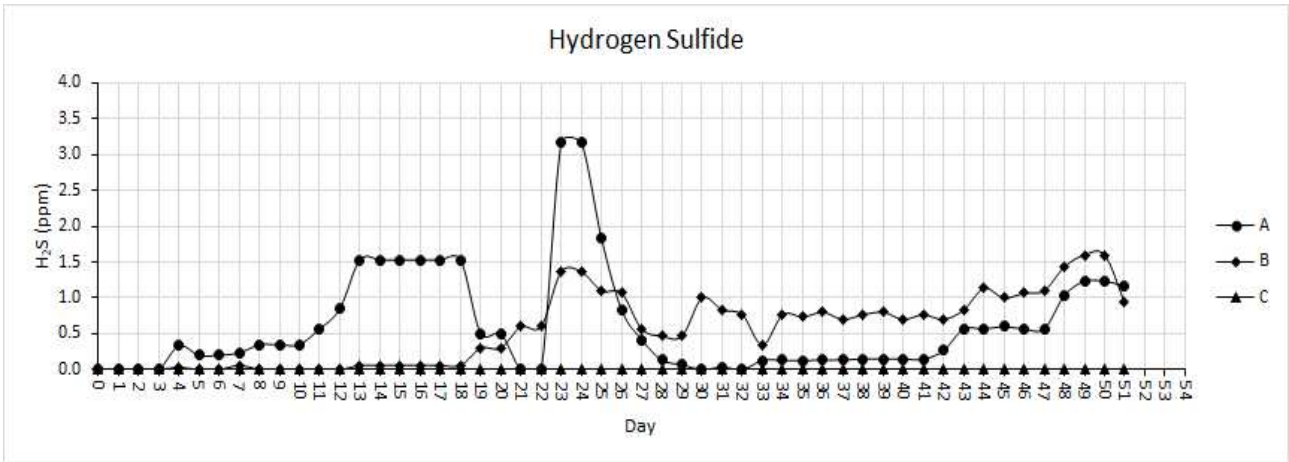
[그림 3.126] 모형돈사 바닥 종(種)에 따른 경시적 습도변화



[그림 3.127] 모형돈사 바닥 종(種)에 따른 경시적 암모니아 농도변화

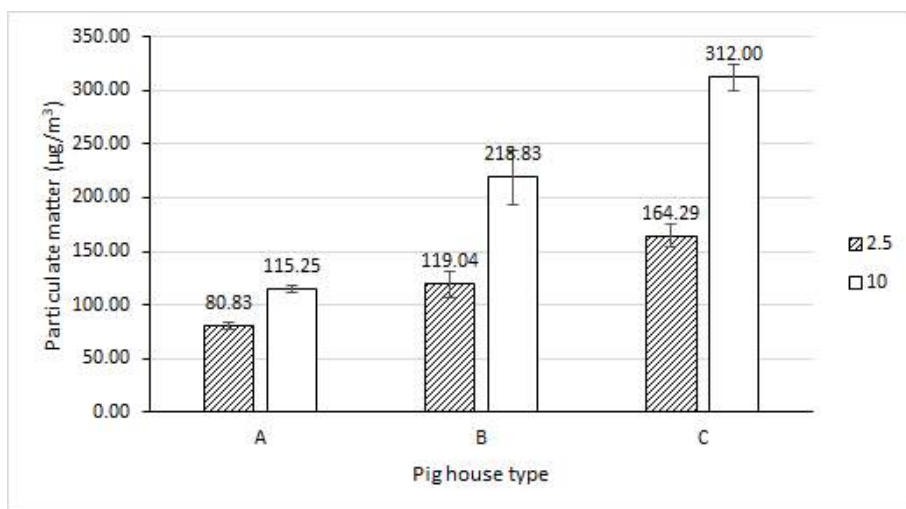
- 모형돈사 종별(種別) 경시적 암모니아 농도는 [그림 3.127]과 같다. 일반적으로 A 암모니아 농도가 가장 높았고 그 다음은 B, C 순(順)이었다. A 평균 암모니아 농도는 9.07ppm으로, 6.10ppm인 B, 5.94ppm인 C보다 유의적 높았다 ( $p < 0.05$ ). C 평균 암모니아 농도는 낮았지만, 그 차는 크지 않았다. C 암모니아 농도가 낮은 것은 톱밥의 영향일 수 있다. 톱밥은  $\text{NH}_3$ 에 결합된 고농도 유기탄소를 함유하고 있어 혼합갈래재에 다량의 질소가 존재하지 않는다. 모든 질소는 미생물들에 의해 합성되어 소비된다. 실험14일~실험15일 C모형돈사 암모니아 농도가 증가하여 실험종료단계에서는 암모니아 농도가 가장 높게 관찰되었다. 이는 톱밥갈래의 과다 질소축적이 미생물 대사능력을 초과하였다. 또한 미생물 대사를 위한 가용성 탄소원은 제한적으로 C/N 불균형이 발생하여, 다량의 질소가 ammonification에 의하여 암모니아 가스로 전환된 때문으로 여겨진다.
- C모형돈사의 암모니아 농도는 B 암모니아 경시적 농도변화와 비슷한 추세로 감소한다. 이 상태는 C 배출팬의 용량을 높여 개선하였기 때문이다. 같은 피트 슬러리 시스템인 B의 암모니아 농도가 A보다 낮게 나타냈는데 이는 B 모형돈사에 미생물제로 처리했기 때문으로 여겨진다. 미생물제 처리1주일 후 크게 낮아졌다. 따라서 장기적 효과를 위해 정기적인 미생물제 적용이 필요하다 판단된다. 물론 미생물제 시용으로 추가 작업과 구입비용 증가는 감내해야 한다.
- 모형돈사 종별(種別) 황화수소 농도의 경시적 변화는 [그림 3.128]과 같다. 황화수소는 혐기 조건에서 분뇨의 황함유 유기물의 분해에 의해 세균 황산염 환원에 의해 생성된다. 실험 중 A 평균 황화수소 농도는 약 0.63ppm로서 B 0.57 ppm보다 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 황화수소 농도가 가장 낮은 모형돈사는 C로서 거의 0.00ppm에 가까웠다. 가장 높은 황화수소 농도는 A로서 3.2ppm에 이른다.
- 일반적으로 모든 유형의 돈사 평균 황화수소 농도는 최대 농도 3ppm에 미치지 않는다. (Chastain, 1999). 매우 특이하게 황화수소 3ppm 이상의 고농도 황화수소 농도는 A에서 실

혐23일 일에 관찰되었는데 이는 돈사 내부 산소농도가 낮아 혐기상태가 생성되어 황산염 환원 세균 활동이 활발해진 때문으로 판단된다. 또한 동시에 환기율이 낮아 적정 악취 화합물 희석이 일어나지 못했기 때문이다. 이후 배기팬 용량을 증대한 후 A돈사의 황화수소 농도는 정상 수준인 3ppm 이하로 감소되었다.



[그림 3.128]. 모형돈사 바닥종에 따른 경시적 황화수소 농도변화

- A와 B 간 황화수소 농도차가 큰 것은 B에 미생물제가 원인일 수 있다. 미생물제 사용은 슬러리에서 황산염 환원세균을 억제하여 H<sub>2</sub>S의 발산을 낮출 수 있다. C형 모형돈사의 황화수소 농도가 최저 수준을 유지하는 것은 톱밥깔개 때문일 수 있다. 고품 깔개재 혼합물은 다공성(多孔性)이므로 공극간 산소가 유입되어 혐기상태가 발생하지 않아 황산염 환원 세균 활성이 떨어짐으로써 황화수소 생성이 거의 일어나지 않은 듯하다. 깔개를 적절하게 관리하지 않으면 깔개층이 혐기 상태를 유발할 수 있다.
- 돼지 사육기간 중 돈사 바닥 종(種)은 H<sub>2</sub>S 발산에 영향을 미친다. 톱밥깔개 바닥은 피트슬러리 시스템보다 H<sub>2</sub>S 발산이 낮을 수 있다. 비슷한 조건에서, 바닥시스템에 따라 H<sub>2</sub>S 발산율은 최대 100%까지 감소시킬 수 있다.



[그림 3.129] 모형돈사 바닥 종(種)에 따른 미립먼지 농도

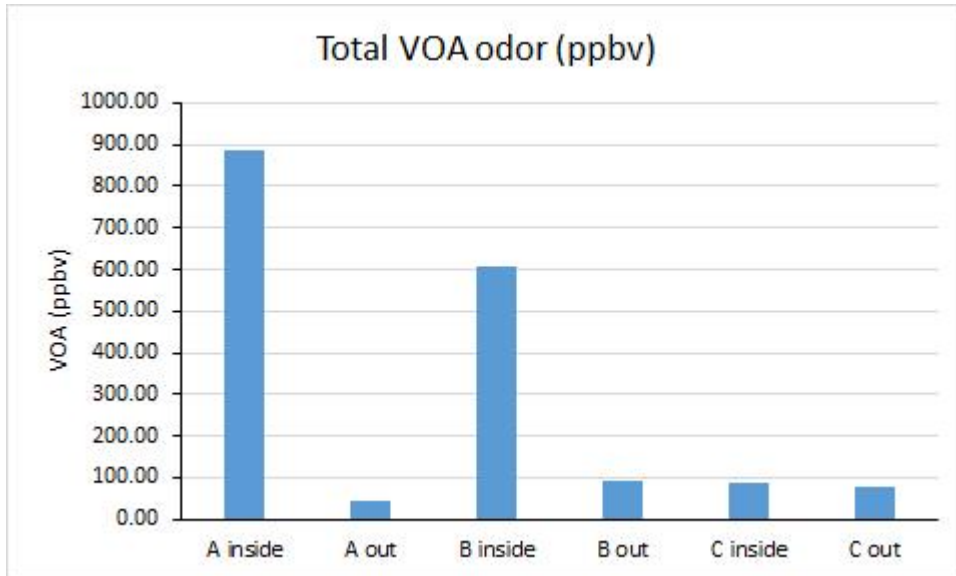
- 바닥재 종(種)에 따른 돈사내의 미립먼지 농도분포는 [그림 3.129]와 같다. C 모형돈사 미립먼지 분포는 PM10, 312  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM2.5, 164.29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 분석되었다. C가 B, A 모형돈사보다 미립먼지 농도가 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). A, B 모형돈사의 PM10은 각각 218.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 115.25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 슬러리피트 시스템에서 PM10은 B 돈사가 A돈사보다 유의적으로 높은 데( $p < 0.05$ ), 이는 B돈사에 미립먼지를 세탈(洗脫)할 수 있는 MBR수를 분무하였기 때문일 수 있다. 유사한 환경조건에서 톱밥깔개 C는 PM10과 PM2.5 둘 다 피트슬러리 시스템보다 미립물질 농도가 높은 것으로 나타났다. 이는 톱밥깔개 공기 중으로 미립자가 부유하기 때문으로 이해된다. 돼지 톱밥깔개 혼합물더미를 파는 등 돼지의 자연스런 행동습성을 촉진했기 때문일 수 있다. 부유 미립물질 농도가 높으면 공중 부유세균 농도도 높다.
- 깔개시스템의 PM10, PM2.5은 각각 피트슬러리 바닥재 시스템보다 40%~170%, 약 38% ~ 51% 이상 증가함을 관찰하였다.

[표 3.14] 돈사 종별(種別) VOA 농도분포

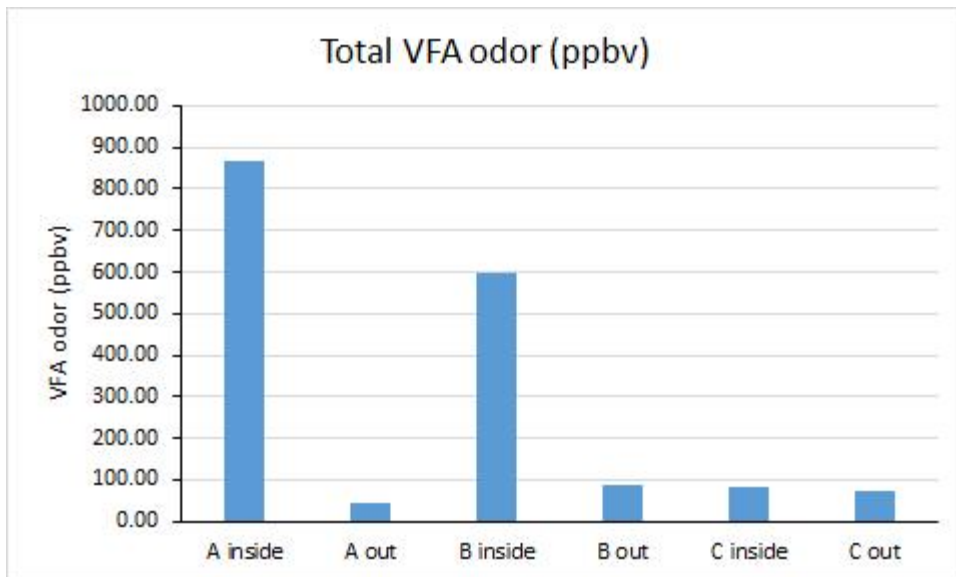
VOA odor	A		B		C	
	A inside	A out	B inside	B out	C inside	C out
AA	87.32	34.75	73.16	46.02	32.61	32.58
PA	29.12	0.97	20.05	2.70	0.00	5.88
iBA	2.12	0.09	1.95	0.15	17.43	0.73
BA	15.44	1.00	10.17	1.46	0.01	0.00
iVA	5.66	0.37	4.20	0.04	0.17	4.56
VA	729.36	4.15	489.78	38.04	31.64	29.84
p-CRESOL	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
INDOLE	0.86	0.43	0.44	0.21	0.56	0.00
SKATOLE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DMS	13.28	1.83	3.17	1.66	2.44	2.93
DMDS	1.14	0.08	1.89	0.00	0.00	0.00
Total VFA	869.02	41.32	599.30	88.42	81.86	73.60
Total Phenol	0.86	0.43	0.94	0.21	0.56	0.00
Total Sulfuric	14.42	1.92	5.06	1.66	2.44	2.93
Total VOA	884.29	43.67	605.31	90.30	84.86	76.53

- 모형돈사 종(種)의 평균 휘발성 유기산(VOA) 약취 농도는 [표 3.14]와 같다. [그림 3.130]은 돈사 종(種)에 따른 실내 총휘발성 유기산(VOA) 약취농도 분포를 나타낸다. 분석결과, VOA, A돈사, 884.29 ppbv는 B 605.31ppbv, C 84.86 ppbv 보다 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 바닥 종(種)에 따라 돈사 내의 VOA 약취 농도는 다르다. 슬러리 피트 돈사가 더 많은 양의 VOA 약취를 발산하였다. 깔개시스템은 VOA 약취 피트 슬러리 관리시스템보다 약 85% 정도 낮게 관찰되었다.

- 같은 피트시스템에서 B 모형돈사는 A보다 VOA 악취 발산은 유의적으로 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 이는 B 형 돈사에서 MBR수의 재순환 처리 때문으로 이해된다. 피트 슬러리로 MBR수 재순환시 VOA 발산량을 재순환시스템이 없는 경우보다 약 31 % 저감시킬 수 있다.



[그림 3.130] 모형돈사 종(種)에 따른 VOA 농도 분포

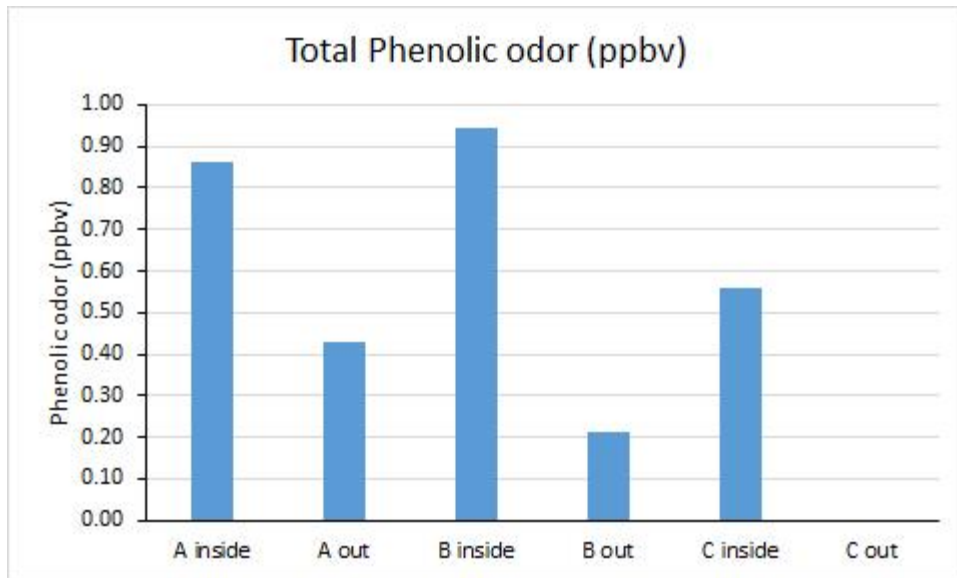


[그림 3.131] 모형돈사 종에 따른 VFA 농도

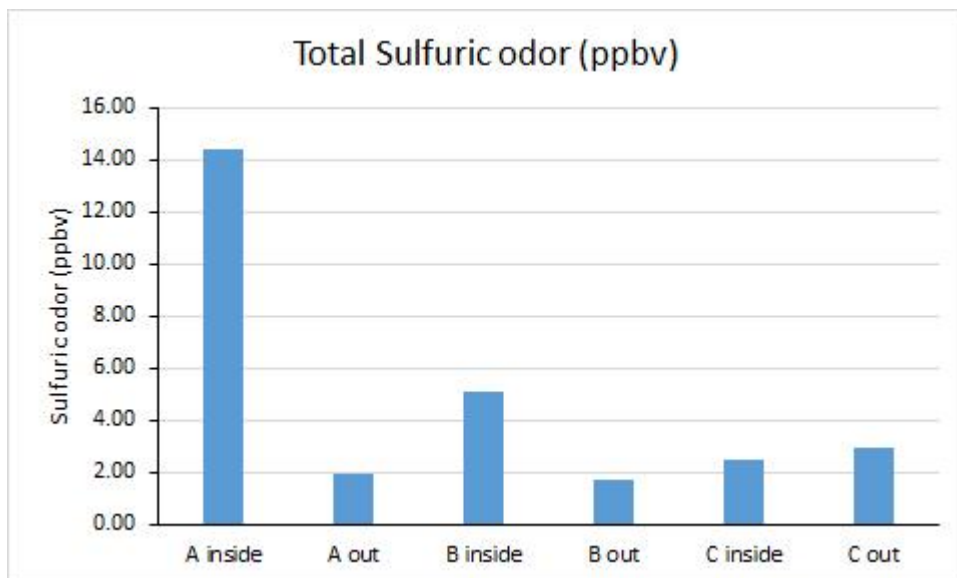
- VOA 악취 화합물 중 VFA 악취가 이 실험에서 약 85 %를 차지한다([표 3.14]). 깔개시스템 C의 VFA 악취는 A, B 보다 현저히 낮았다.([그림 3.131]) 페놀악취는 A, B는 비교적



비슷한 수준이었으나 C 페놀 약취(0.56ppbv)는 A (0.86ppbv), B (0.94ppbv) 현저히 낮았다 (p<.05).([그림 3.132])



[그림 3.132] 모형돈사 종(種)에 따른 입출(入出) phenol 농도

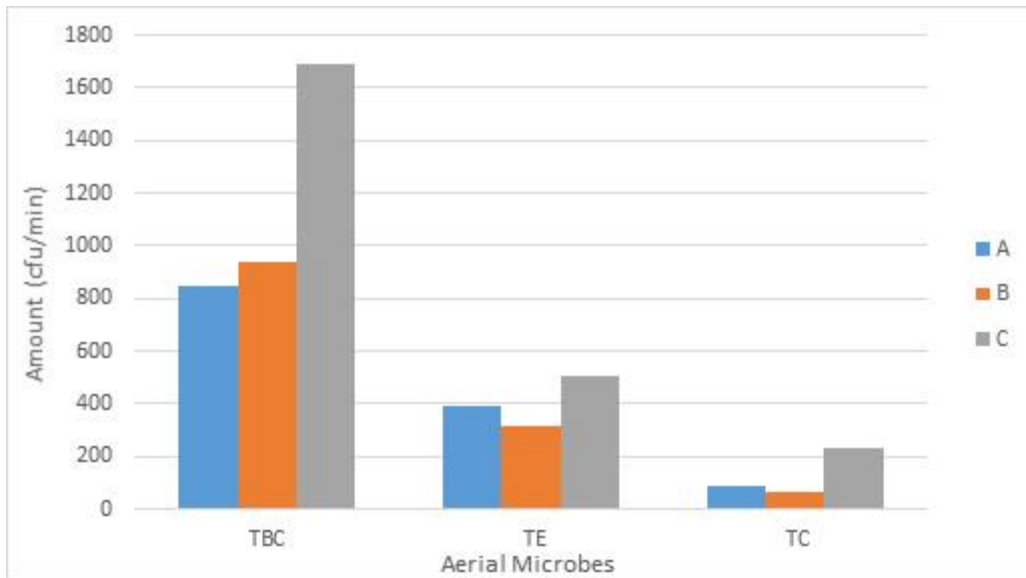


[그림 3.133] 모형돈사 종(種)에 따른 입출(入出) 황계열 약취농도

○ 황계열 약취 화합물 C형 모형돈사의 황계열 약취 농도는 2.44 ppbv로서 A형 (14.42 ppbv), B형(5.06 ppbv)보다 현저히 낮았다 (p <0.05). 깔개시스템에 의한 황계열 약취농도 약 51.77 ~83.07% 삭감되었다.([그림 3.133])

○ 부유세균 :

가. [그림 3.134]와 같이, 바닥재로 톱밥을 사용하는 C 모형돈사의 경우, 부유세균, TBC, TC, TE 농도가 A, B 보다 유의적으로 높았다. 이것은 깔개의 분변 미생물이 공기환경으로 쉽게 분산된 때문으로 여겨진다.

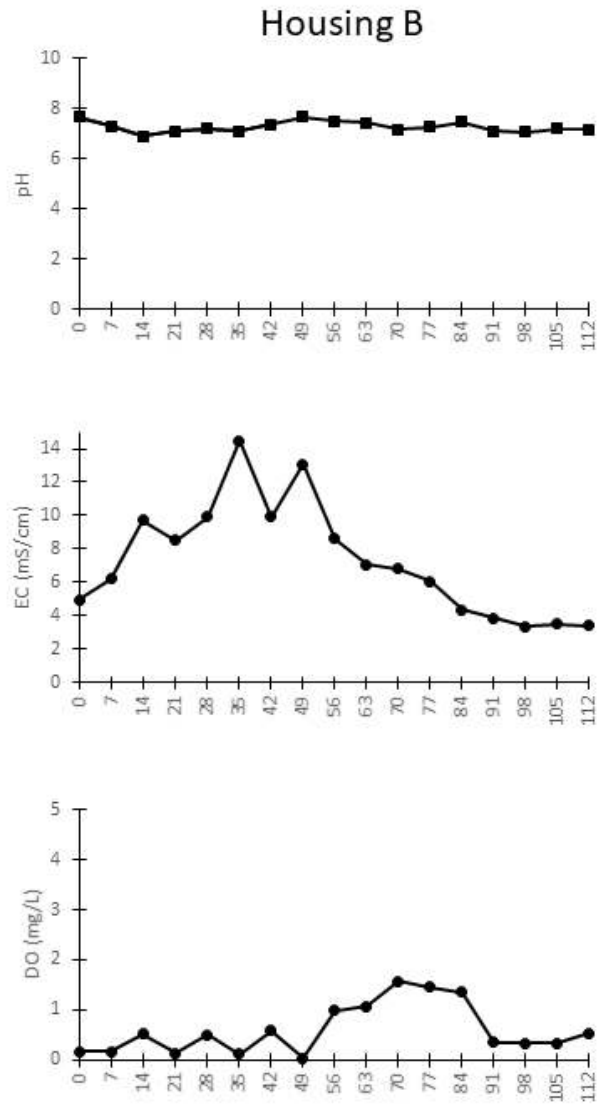
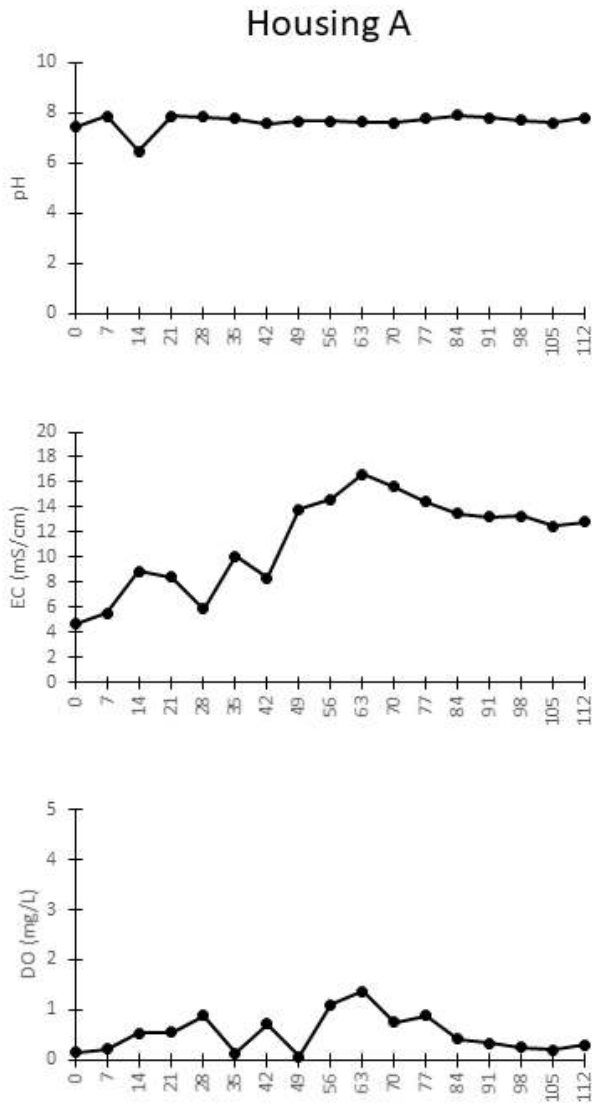


[그림 3.134] 돈사종별, 세균종별 부유세균 농도 분포

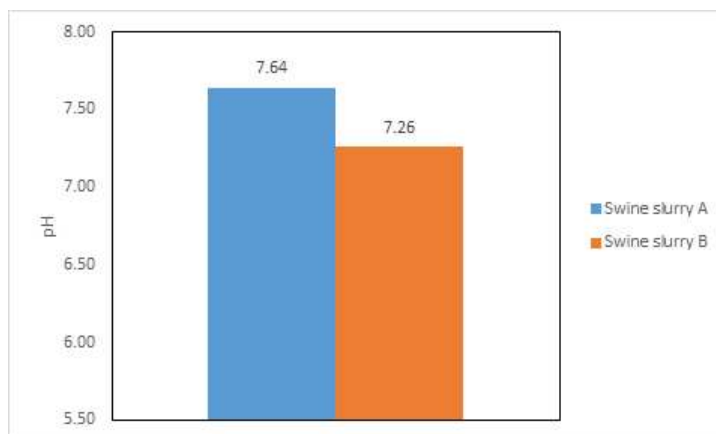
나. A, B 모형돈사 보다 C 모형돈사에서 더 많은 세균이 공기중으로 발산되는 결과를 가져왔다. 이는 톱밥깔개 분변 세균들이 돼지 활동이나 공기유동에 의해 공기 중으로 전이된 때문으로 이해된다. 게다가 톱밥은 돼지의 보충재로 작용하기 때문에 톱밥은 돈사내 돼지 활동을 증가시킬 수 있다. 보충재는 땅파기, 걷기 등과 같은 자연적인 돼지 행동습성을 부추길 수 있다. 이로 인해 공기중 환경으로의 미생물 분산이 증가한다. 실험 기간 동안 C 모형돈사의 바이오필터 시스템의 평균 TBC, TE 및 TC 수는 각각 1695, 502, 235 cfu/min이었다.

다. [그림 3.135]는 A, B 모형돈사 피트 슬러리의 용존산소 (DO), pH, EC를 나타낸다. 슬러리 피트 혐기상태 때문에 용존산소 농도가 0~1mg/L 범위로 매우 낮다. 피트 내의 슬러리 평균 pH는 각각 7.64, 7.26 으로 거의 일정하지만 EC는 A는 지속적으로 증가하나 B는 증가하다 실험35일 이후는 감소하는 추세다. B는 처리수의 수처리공정으로 용존산소가 상승하여 염류의 감소로 EC가 낮아진 듯하다.

라. A, B 피트돈사의 슬러리 pH 차이가 없다. 약간 알칼리성이긴하지만 모두 중성에 가까운 pH를 가진다. 뇨와 암모니아 생성 단백질에 의한 유기물 분해활동의 차이,가 기질의 pH를 증가시킬 수 있다. 미생물에 의한 유기산 생성도 pH 값차이에 기여할 수 있다.([그림 3.136])

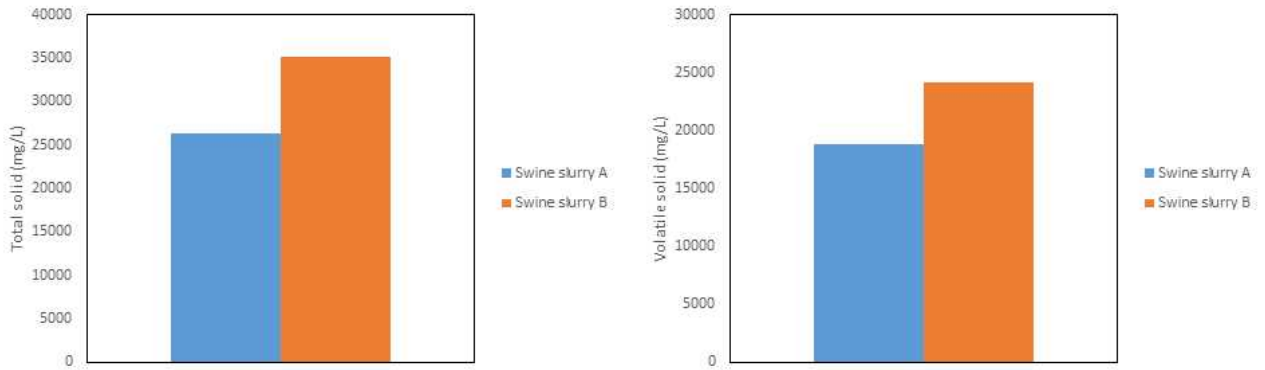


[그림 3.135] 돈사A, B의 이화학적 특성

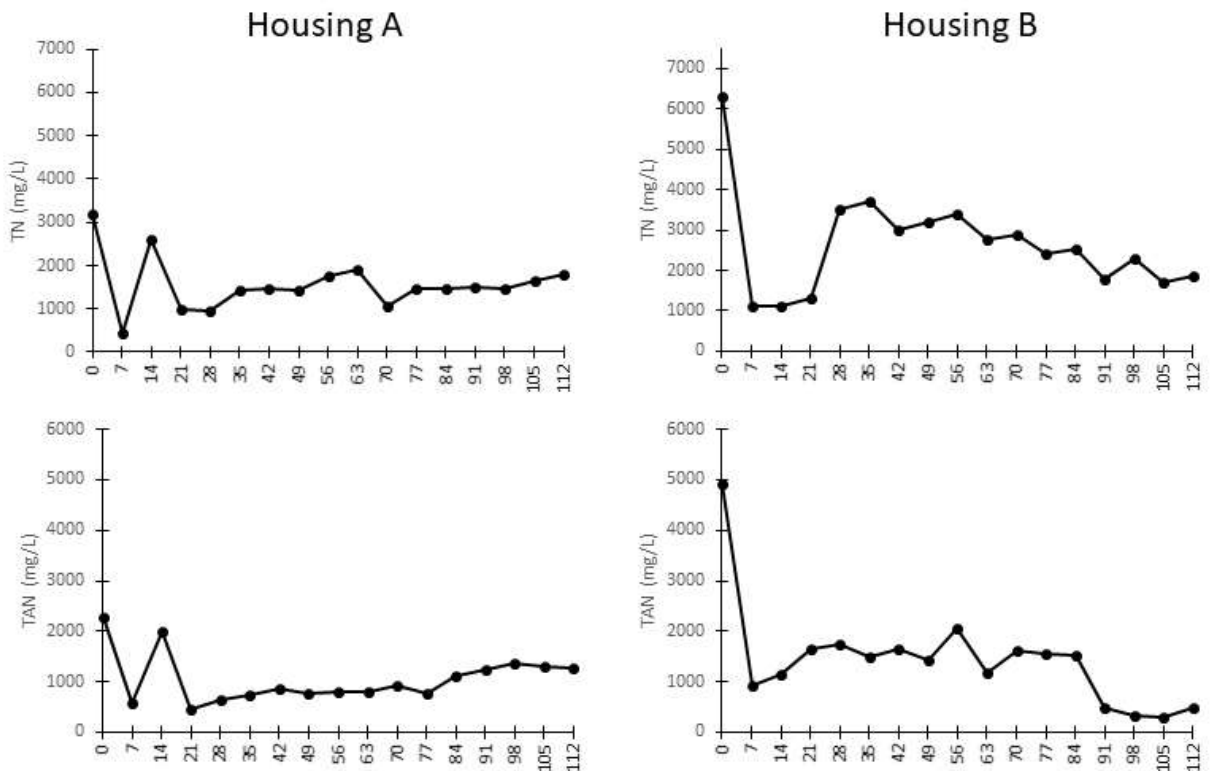


[그림 3.136] 돈사A의 돈슬러리 pH

마. [그림 3.137]은 슬러리 피트돈사 A와 B에서 슬러리 총 고형분(TS)과 휘발성 고형물 (VS) 농도를 비교한 것이다. 돈사B 슬러리는 A보다 TS, VS가 높게 분석되었다. B슬러리는 수처리공정을 거친 처리수로 재순환하며, A는 간이 수처리수로 재순환하는 데 B의 TS, VS가 높은 이유는 차후 연구에서 구명되어야 한다.



[그림 3.137] 돈사A, B 돈슬러리의 이화학적 특성



[그림 3.138] 돈사A, B 돈슬러리의 TN, 암모니아 농도

바. A, B 돈사의 TN, TAN 농도 경시적 변화는 [그림 3.138]과 같다. A의 TN은 지속적인

로 증가하나, B 슬러리 실험35일 후 지속 감소한다. B형 돈사에 노즐 스프레이로 처리수 분무하면 피트내의 돼지 슬러리 희석된다. 처리수 분무량은 50 L/일은 돼지 슬러리 생산량인 90L/일의 60%에 해당되어 희석의 효과가 TN, TAN을 감소시킨 듯하다. 돈사A 슬러리 총 암모니아 질소는 공기 중의 암모니아 농도를 높이는 데 기여할 수 있다. 돈슬러리 질소가 pH7~8에서 암모니아 가스화하고 공기중으로 발산하여 암모니아 농도가 높아진 듯하다. 특히 여름철 고온에서 질소의 암모니아 변환이 촉진된다.

**(7) Membrane BioReactor(MBR) 처리수 살포가 미세환경에 미치는 영향**

- B형 모형돈사 MBR 처리수 살포 실험은 돈사내부 악취 생성과 고온 저감을 위하여 수행되었다. MBR처리공정은 처리수 실상도 및 저류조 실상도는 각각 [그림 3.139].1, [그림 3.139].2, [그림 3.139].3.과 같다. MBR 처리수 [그림 3.140]과 같이 자동 타이머 펌프에 의해 분무시스템에 살포된다.
- MBR처리수 분무(噴霧)의 효과를 검증하기 위하여 처리구 분무(B), 대조구 무분무(A) 실험하였다. B 분무율은 매 시간 2L/2분, 하루 MBR 처리수 총 48L/일 설계하였다. 여름철 B 실험 중 분무기가 작동하면 돼지체온을 저하시키기 위하여 분무기에 가깝게 다가선다([그림 3.140]). 후각적으로 분무장치 설치 유·무로 인한 차이점을 관찰하지 못하였다하더라도 모형돈사 MBR처리수 실편효과에 대해서 추후 후속연구가 필요하다.



[그림 3.139].1 돈슬러리 수처리공정  
처리수 실상도



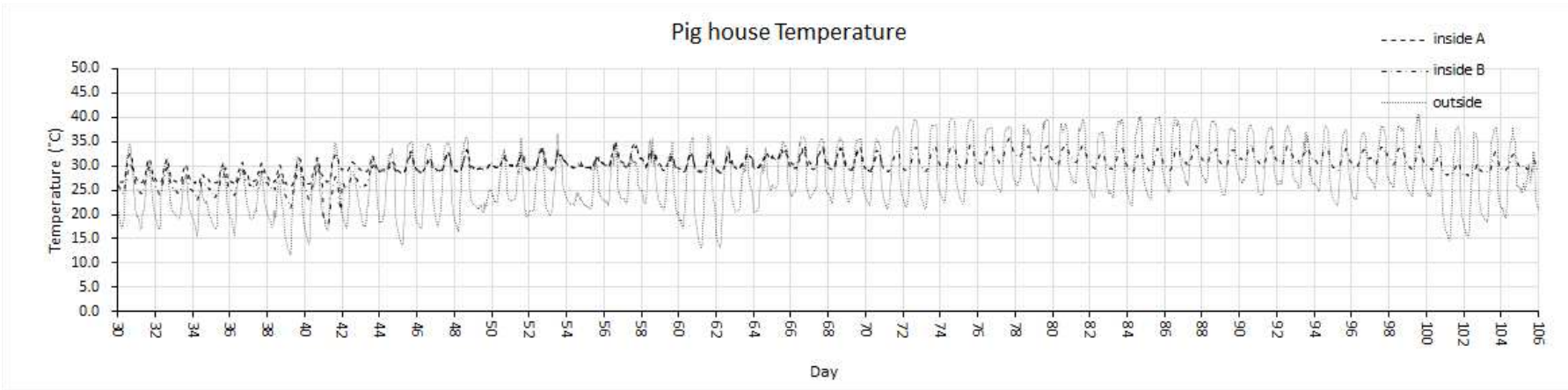
[그림 3.139].2 돈슬러리 수처리 MBR  
처리수 실상



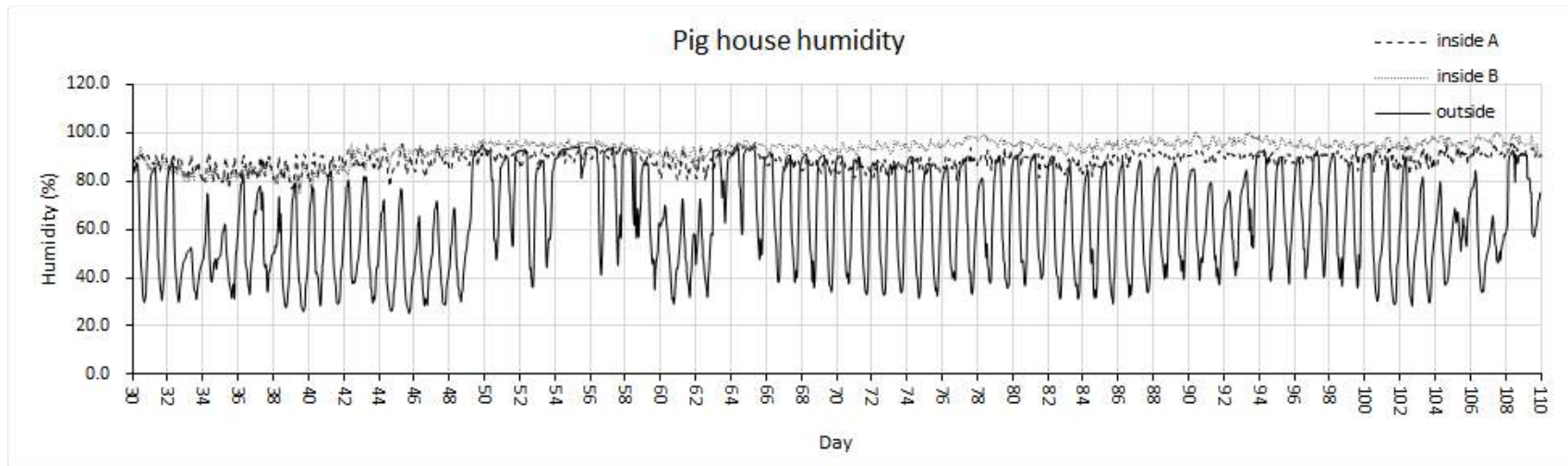
[그림 3.139].3 돈슬러리 MBR 처리수 저류조 실상도



[그림 3.140] 돈슬러리 MBR 처리수 돈방내 분무(噴霧) 실상도

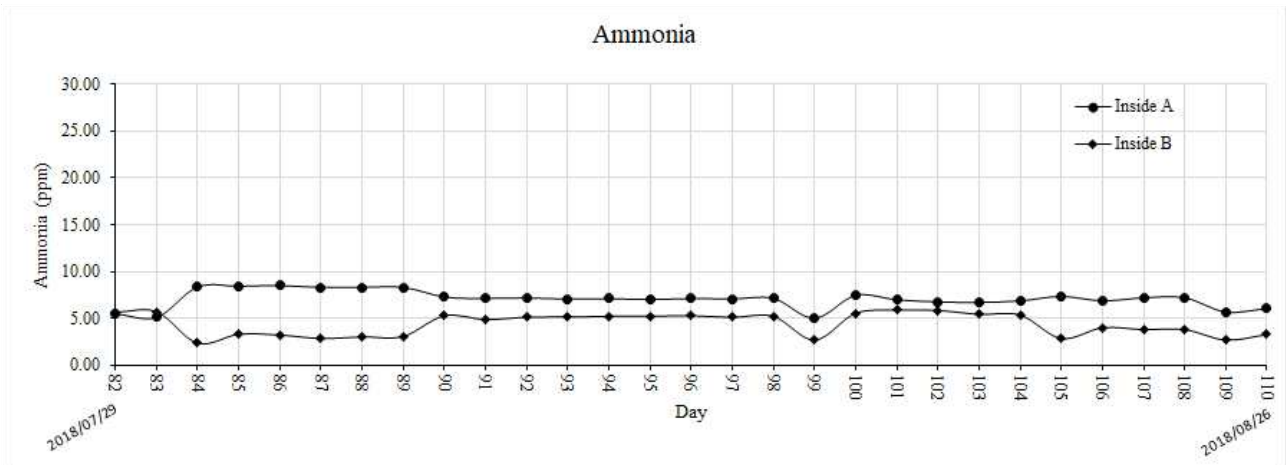


[그림 3.141] 돈사 종별(種別) 돈슬러리 MBR 처리수 분무시 경시적 온도 변화



[그림 3.142] 돈사종별(種別) 돈슬러리 MBR 처리수 분무시 경시적 습도 변화

- [그림 3.141]은 MBR 분무 실험 중 A, B 사육실 경시적 온도변화를 나타낸다. 분석결과 돈사 B 내부온도는 분무의 영향을 받지 않았으며, 피트돈사간 (A, B) 유의적 차이는 없었다 ( $p>0.05$ ). 분무율은 4L/일/m<sup>2</sup>로서 실내온도를 낮추는 데는 충분하지 못했을 수 있다. 그러나 분무율을 높일 경우, 실내 과습(過濕)으로 인한 병원성균 증식 등의 문제를 야기할 수 있으므로 신중해야 한다.
- MBR처리수 분무 습도변화 [그림 3.142]와 같다. 처리구 B돈사 습도는 평균 92%~93%에서 평균 94%~95%로 1% 정도 증가하였다. B돈사 습도는 대조구 A돈사 (92%~93%)보다 유의적으로 높았다 ( $p<0.05$ ). 비슷한 조건에서, 4 liter/일/m<sup>2</sup>로 MBR 처리수를 분사하면 미분사 돈사보다 약 1 %의 습도를 증가시킬 수 있다. 그러나 온도 강하(降下)에 영향을 주지 못했다.

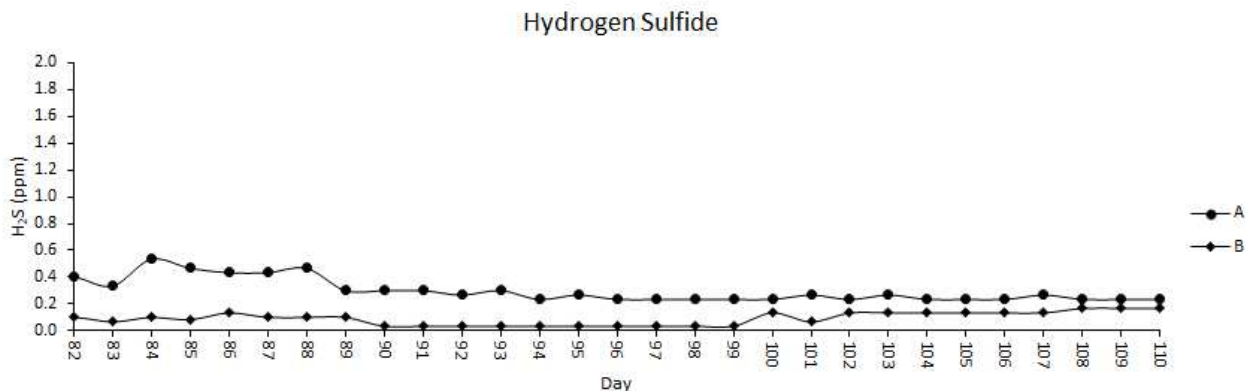


[그림 3.143] 돈슬러리 MBR 처리수 분무시 경시적 암모니아 농도

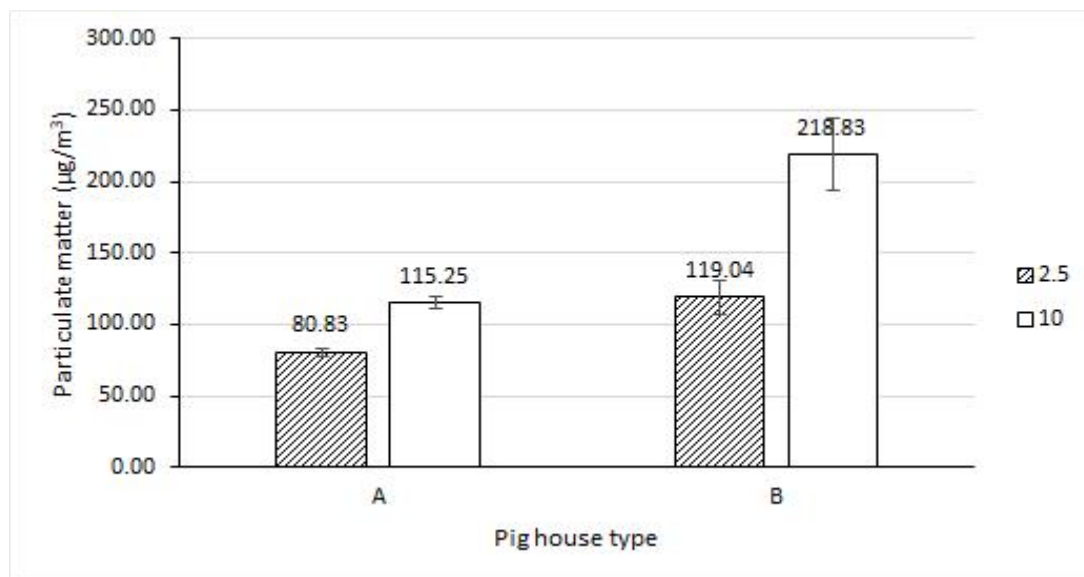
- 모형돈사 A, B 암모니아 농도 경시적 변화는 [그림 3.143]과 같다. MBR처리수 분무처리 실험에서 A 평균 암모니아 농도는 7.06 ppm, B 암모니아 농도는 4.36 ppm으로 A암모니아 농도는 B보다 유의적으로 높았다 ( $p<0.05$ ). B MBR 분무 처리1주일 후(실험83일) 암모니아 농도는 약간 감소했다. 정기적 분무(噴霧)로 암모니아 농도가 다소 감소하면서 미립먼지와 악취화합물도 물분자와 흡착되어 자중(自重)에 의해 바닥으로 낙하할 수 있다. MBR 분무 처리가 돼지 사육실의 암모니아 농도를 저감시키는 긍정적인 효과가 있다. 특히 더운 여름철에는 중온(mesophilic)으로 질소의 암모니아화 (ammmonification)가 촉진되어 암모니아 발산이 커진다. 추운 겨울철에는 MBR 처리수 저온이 돼지에게 cold draft영향을 미칠 수 있으므로 겨울철 MBR 분무는 추천하지 않는다.
- MBR 분무 실험 중 A(대조구), B(처리구) 황화수소 농도 경시적 변화는 [그림 3.144]와 같다. 황화수소는 혐기조건 하에서 황산염 환원세균에 의하여 가축분변 황 함유 유기화합물 분해에 의해 형성된다. 분석결과 B 모형돈사(0.09ppm)의 평균 황화수소 농도는 A보다



(0.30ppm)보다 유의적으로 낮았다 ( $p < 0.05$ ). MBR 분무 처리(B)로서 돈사 내 H<sub>2</sub>S 악취농도를 약 70 %까지 삭감시켰다.



[그림 3.144] 돈슬러리 MBR 처리수 분무시 황화수소 농도 경시적 변화



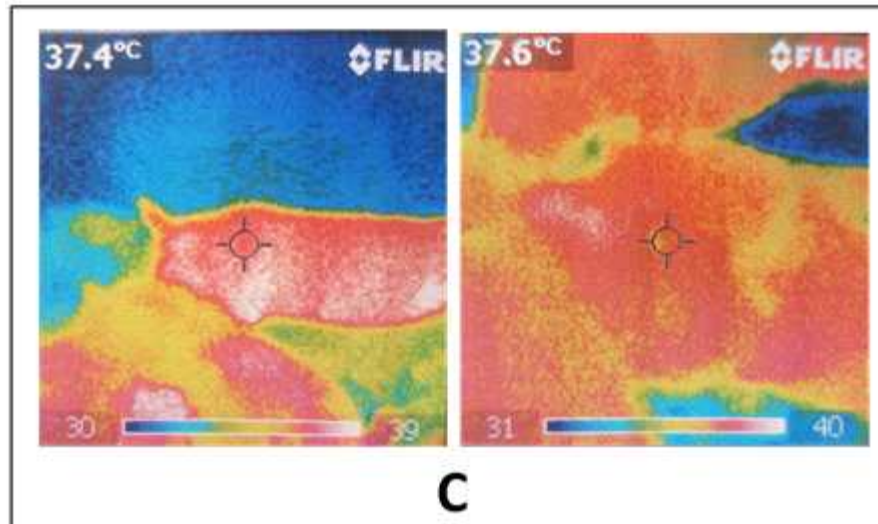
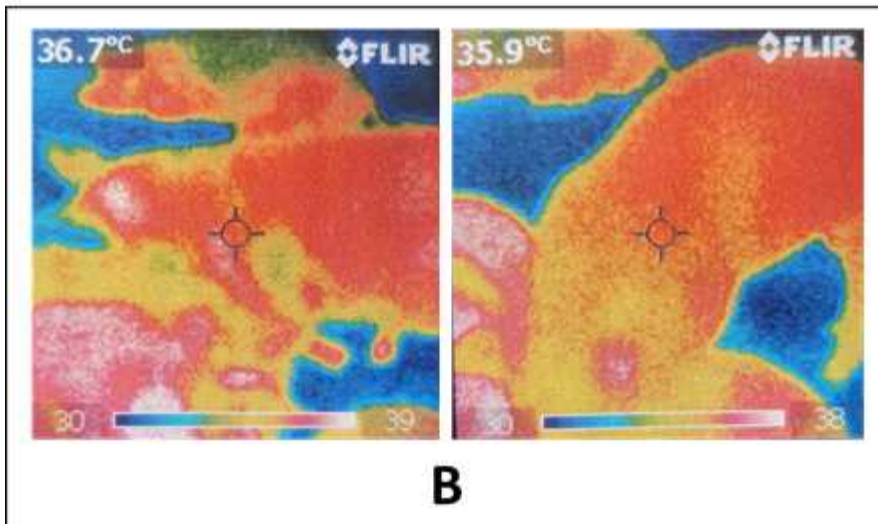
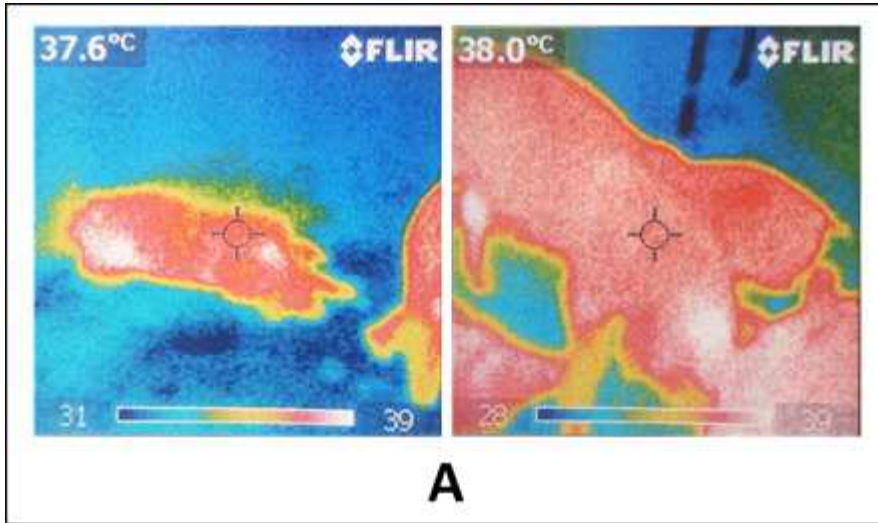
[그림 3.145] 돈슬러리 MBR 처리수 분무시 경시적 미립먼지 농도 경시적 변화

○ MBR 분무처리 동안 모형돈사 안의 평균 미립먼지 밀도 경시적 변화는 [그림 3.145]와 같다. 분석결과, PM<sub>2.5</sub>은 B모형돈사, 119.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 A 80.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 유의적으로 높았다( $p < 0.05$ ). PM<sub>10</sub>은 B모형돈사, 218.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 A, 115.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 현저히 높았다( $p < 0.05$ ). B (MBR 분무 처리)는 A보다 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub> 각각 47.27%, 89.87% 증가하였다. MBR 분무수에 포함된 원인불명 미립자들이 원인일 수 있다. MBR분무효과 정밀 원인을 분석하기 위해서는 보완연구가 필요하다.

[표 3.15] 피트돈사 종별(種別) MBR 살포유무가 VOA에 미치는 영향

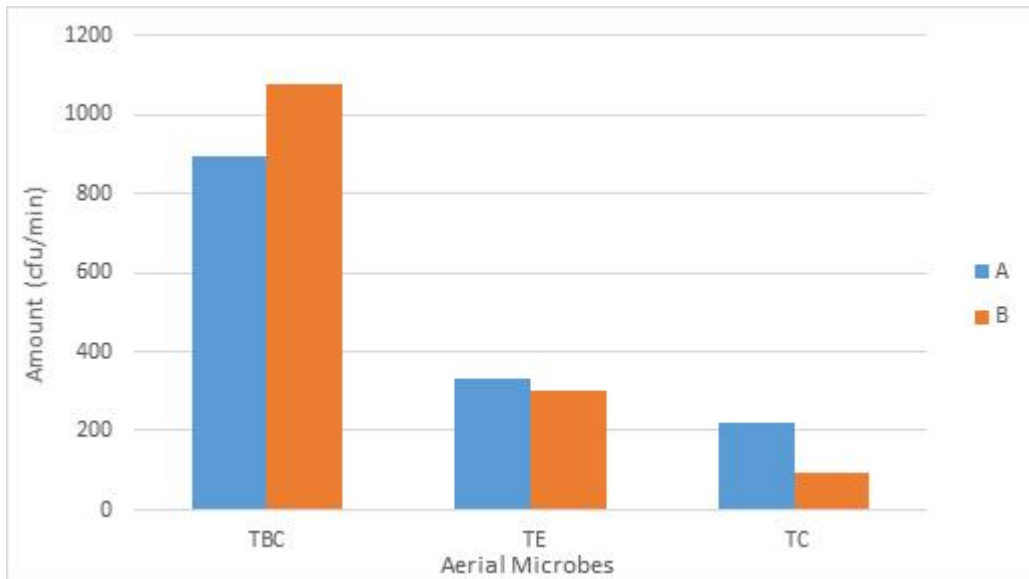
	A inside(대조구)	B inside(처리구)
AA	155.17	33.47
PA	25.97	0.54
<i>n</i> BA	1.41	0.20
BA	18.91	0.10
<i>n</i> VA	5.69	0.52
VA	3.54	1.84
P-CRESOL	0.00	0.00
INDOLE	0.66	0.47
SKATOLE	0.00	0.00
mm	0.00	0.00
DMS	1.69	2.88
DMDS	0.00	0.00
Total VFA	210.69	36.68
Total Phenol	0.66	0.47
Total Sulfuric	1.69	2.88
Total VOA	213.04	40.02

- [표 3.15]는 MBR처리수 분무시 평균 휘발성 유기산 (VOA) 약취 농도를 나타낸다. A 모형 돈사 VOA, 213.04 ppbv로서 B, 40.02 ppbv보다 현저히 높다 ( $p < 0.05$ ). 이 실험에서 MBR 처리수 분무가 VOA 약취 약 81.21 %를 삭감하였다.
- B의 VFA (휘발성 지방산)는 36.68 ppbv로서 A, 210.69보다 유의적으로 낮았다 ( $p < 0.05$ ). MBR분무 처리로 VFA 약취 약 82.59% 감소를 관찰하였다. 페놀약취의 경우 B, 0.47 ppbv로서 A, 0.66 ppbv보다 낮지만 유의적 차이는 없었다 ( $p > 0.05$ ). MBR 분무처리로서 페놀약취 28.78%를 삭감하였다. 황계열 약취화합물은 페놀약취와는 달리, B, 2.88ppbv로서 A, 1.69ppbv보다 높았으나 유의적 차이는 없었다 ( $p > 0.05$ ). 따라서 본 실험 결과, MBR처리수 분무는 VFA약취 감소에 효과적이지만, 돈사 내의 페놀 및 황계열 약취 삭감효과는 뚜렷하지 않다.
- [그림 3.146]은 MBR 분무시스템 가동시 열화상 카메라를 이용한 돈사 내의 돼지 피부온도 가시화 관찰이다. 돈사 종별 A, B, C는 각각 37.8℃, 36.℃, 37.℃ 이었다. B 모형돈사내 돼지 피부온도는 A, C 보다 낮았다. 이는 MBR처리수 분무처리는 돈사 내부에 냉각효과를 제공함으로써 돼지 평균 피부온도 강하효과를 관찰하였다. 돼지 분무기작동 시 가까이 오는 행동을 보였다. 여름철 4L/일/m<sup>2</sup> 분무율 MBR처리수 분무시(B) A, C (무처리)보다 돼지 피부 온도가 약 0.5℃ 저하 효과를 관찰하였다.



[그림 3.146] 열화상카메라에 의한 돼지표피 온도 분포

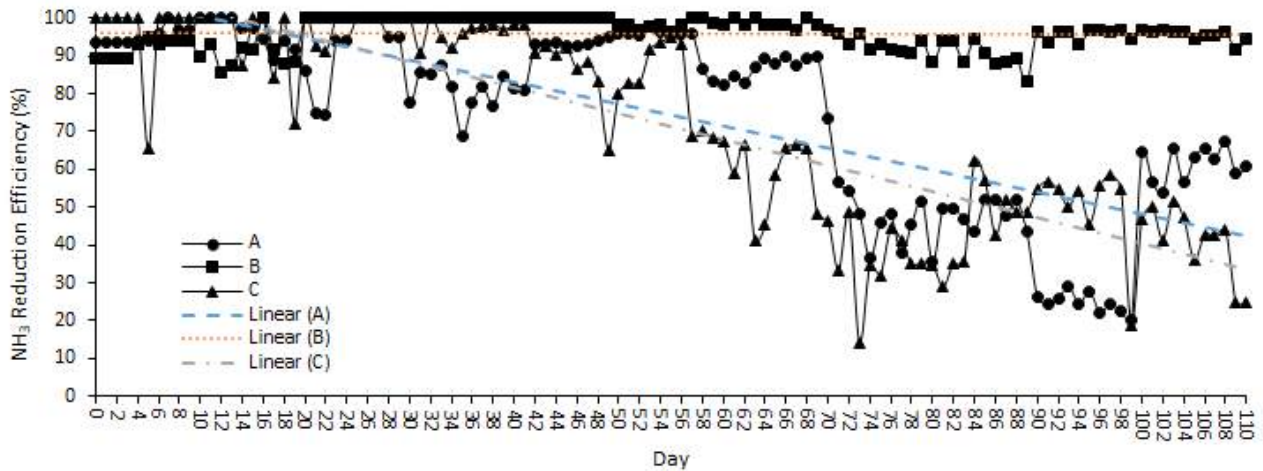
- 모형돈사 폐지 피부 표면 온도는 C와 거의 차이가 없었다 ( $p > 0.05$ ). A와 B 모형돈사는 같은 플라스틱천공 바닥돈사이지만 피부온도는 MBR처리수 분무여부에 따라 더 큰 영향을 받는 듯하다.
- 미생물 (Microbes) : 분석결과 처리구(분무) B의 TBC 밀도는 미처리 A보다 높게 관찰되었다([그림 3.147]). 그러나 TE, TC 밀도는 낮게 분석되었다 이것은 분변 대장균 (Fecal Coliform)과 대장균 (E. coli)이 원인불명으로 분무수 용존되었기 때문으로 이해된다. 기본적으로 분무 MBR 처리수는 생물학적 수처리공정을 거치면서 여러 종의 미생물 함유된 것으로 판단된다. 따라서, TBC 플레이트에서 분석된 미생물은 돈사 안의 공기 중 환경에서 자생 아닌 분무 MBR처리수에서 기인된 것일 수 있다. 공기 중 세균수 감소는 바람직하지만 다른 미생물 서식에 부정적 환경을 제공할 수 있다. MBR처리수 미생물환경에 대한 심화연구가 필요하다.



[그림 3.147] 돈사종별 부유세균 분포

#### (8) 바이오필터 종(種)이 암모니아, VOA 약취제거에 미치는 영향

- 본 실험은 돈사 종(種)-BF 종(種)에서 암모니아 약취와 휘발성 유기산(VOA) 약취 발산을 감소를 위한 개발 바이오필터(BF) 시스템의 효율 분석을 위하여 수행하였다. A는 'A' BF로서 성형 다공성 plastic sheet를 겹쳐 구성체로 만든 수직 바이오필터 시스템 (VBF)을 제작하여 적용하였다. B는 'B' BF로서 셀룰로오스 패드를 수평으로 배치한 지하수평 바이오필터(HBF)를 제작, 적용하였다. C는 'C' 일반 여재 네겹 hybrid형 수평 바이오필터장치를 'C' BF 제작,적용하여 바이오필터 종(種) (A, B, C)에 따른 약취저감효율을 분석하였다.



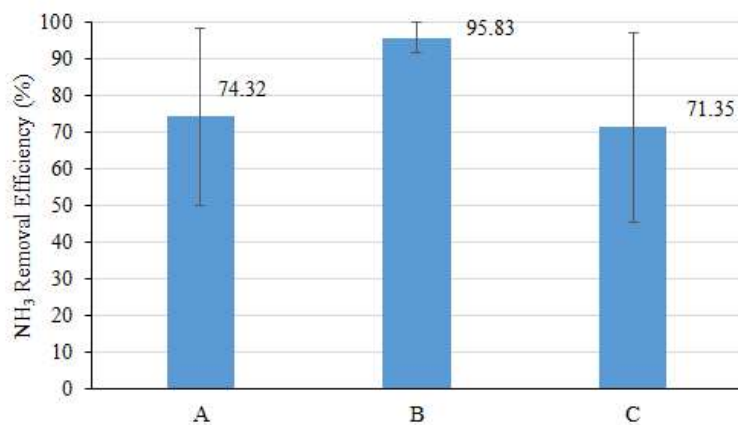
[그림 3.148] 바이오필터 종(種)에 따른 경시적 암모니아 삭감효율

- 바이오필터 중별 일일 평균 NH<sub>3</sub> 제거 효율 경시적 변화는 [그림 3.148]과 같다. A, C의 NH<sub>3</sub> 감소는 전 실험기간에 걸쳐 일어났다. A(VBF) 실험 첫 주 평균 삭감효율의 95%에서 실험종료 주(週)에 62%로 유의하게 감소하였다( $p < 0.05$ ). VBF A바이오필터 시스템의 암모니아 제거효율 감소는 암모니아 생성 속도 증가 또는 바이오필터 장치의 흡수 용량 불충분 때문일 수 있다. 또한, 바이오 필터패드를 통과하는 암모니아를 바이오 필터패드에 서식하는 암모니아 산화세균 밀도가 전량 산화시키기에 충분하지 않아서 일 수 있다. 실험 시간 동안 암모니아가 BF pad에 지속적으로 축적되므로 pad 흡수 능력이 줄어든 채 MBR 처리수가 살포되었기 때문이다. VBF 외부 환경에 매우 민감하여 암모니아 산화세균 생장이 억제될 수 있으며, 바이오필터 매질이 미생물성장에 적합하지 않을 수도 있다.
- 실험110일 동안 B (HBF) 바이오필터 시스템 약취 삭감율은 90% 이상으로 유의적으로 일정하였다( $p > 0.05$ ). 실험 중 HBF 바이오필터 삭감효율이 일정한 것은 지하에 수평바이오필터 위치케하여 외부 환경의 영향을 최소화한 때문으로 이해된다. HBF 외형구조는 [그림 3.149]와 같다. HBF 구조는 돈사 오염물질(약취 포함)이 침수되면서 용존 약취를 1차적으로 제거하도록 하였다. 배기팬을 바이오 필터 패드 다음에 위치하게 하여, 음압 시스템에 의해 흡입한다. 공기 중 오염화합물은 BF 통과하면서 제거된다. 최종적으로 배출공기는 굴뚝팬을 통하여 외부로 배기된다. HBF구조는 바이오 필터 패드의 일정한 온도와 일정한 환경 조건을 제공하므로 암모니아 산화세균 성장저해가 일어나지 않아 효율이 높은 듯하다.



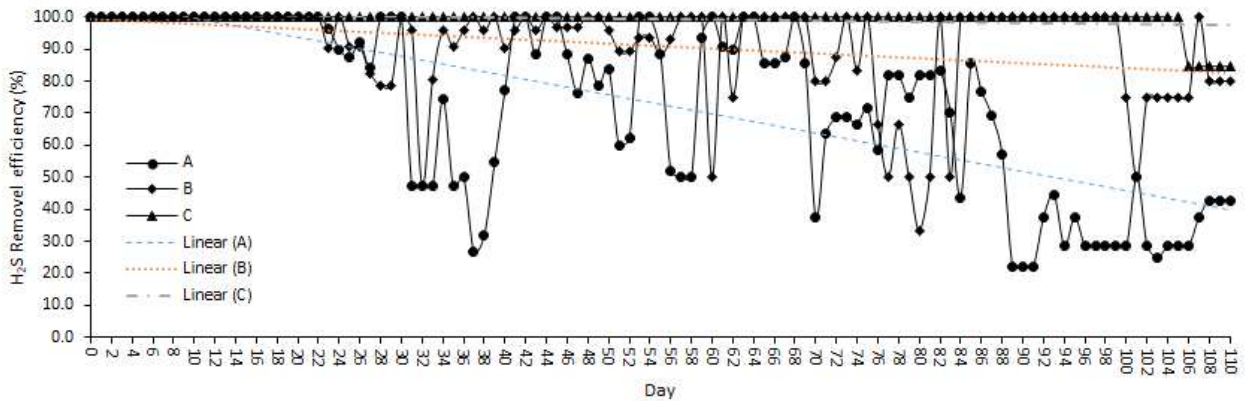
[그림 3.149] 돈사B-HBF 실상도

○ C형 (HyBF) 바이오 필터는 VBF와 HBF를 융복합 하였다. HyBF의 암모니아 제거효율은 [그림 3.150]에 제시되어있다. HyBF 암모니아 제거효율은 VBF 바이오 필터 효율과 비슷하였다. HyBF의 암모니아 제거효율은 실험초기 100%에서 실험종료일 약 20%까지 현저히 감소했다( $p < 0.05$ ). HyBF의 암모니아 제거효율은 실제로 실험56일까지 일정하였으나 이후 점차 떨어졌다. 바이오필터에서 다른 바이오필터의 매질 검사했다. 1차 실험에서 매질로 보조 첨가제 FGD 석고 및 바이오숯을 사용하였지만 2차 실험 보조첨가제가 없는 바이오 필터 매질이었다. 1차 실험은 실험1~실험56일까지 수행되었고, 2차는 실험57~실험110일까지 수행되었다. 보조 첨가제 첨가된 HyBF(처리구)는 보조첨가제가 첨가되지 않은 HyBF(처리구)보다 암모니아 제거효율( $p < 0.05$ )이 유의적으로 높았다. 이는 암모니아 산화세균의 성장을 유도하고, 화학적, 물리적으로 암모니아 흡수 능력을 제고(提高)시켰기 때문인 것 같다.



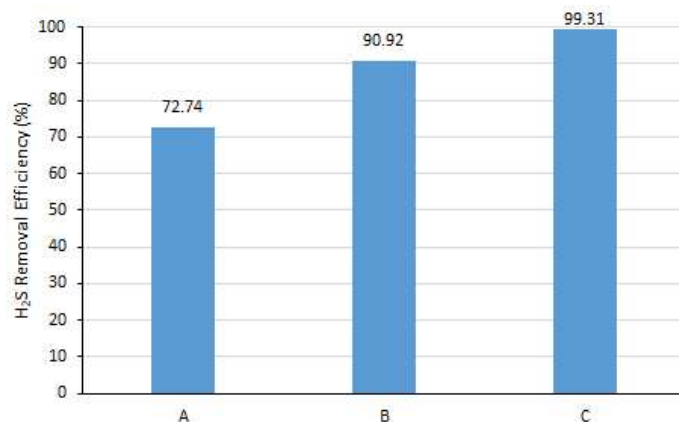
[그림 3.150] 돈사 BF종별 암모니아 삭감효율

○ [그림 3.150]은 실험 중 평균 암모니아 제거효율을 나타낸 것이다. HBF (B)가 암모니아 제거 효율이 가장 높게 (95.83 %) 나타났다. VBF와 HyBF는 각각 74.35%, 71.35 % 로서 B보다 유의적으로 낮았다. 그러나 세 유형 BF 제거 경향은 다르다하더라도 전 실험기간 암모니아 제거효율에는 큰 차이가 없었다( $p>0.05$ ). 그러므로 BF종은 상황이나 선호에 따라 선정해도 큰 문제가 없어 보인다. 바이오필터 성능면에서 HBF가 일정하나, VBF, HyBF 유지관리가 쉽고 단순하다.



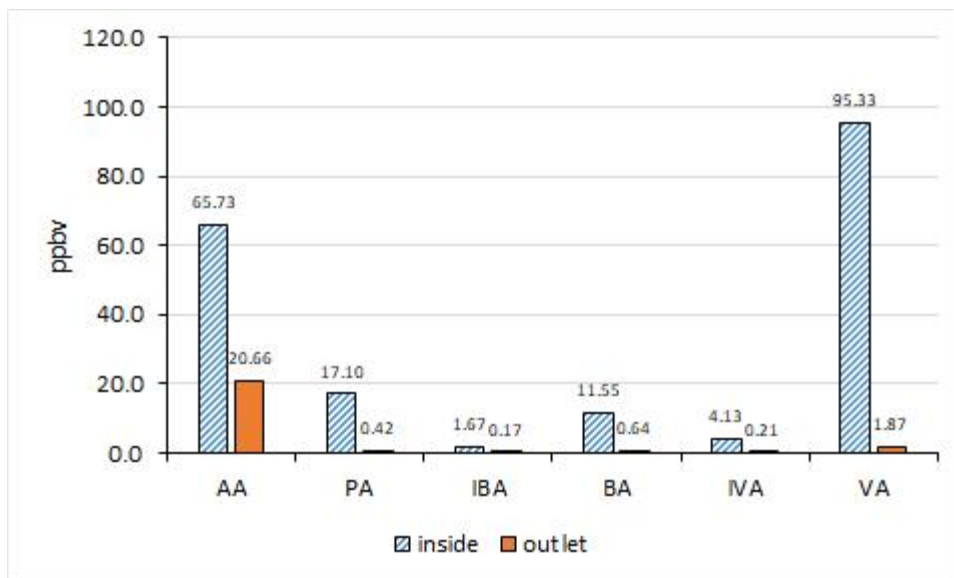
[그림 3.151] BF 종별 H<sub>2</sub>S 경시적 삭감효율

○ 바이오필터 종별 H<sub>2</sub>S 제거효율은 [그림 3.151]과 같다. A (VBF) 바이오필터의 평균 H<sub>2</sub>S 제거 효율은 초기100 %에서 실험종료일 약 39%의 떨어진다. B (HBF) 바이오 필터시스템은 실험종료일 약 78% 수준으로 H<sub>2</sub>S 제거효율이 점감(漸減)하였다. C (HyBF) 바이오 필터 시스템은 실험106일까지는 거의 100 % 수준으로 일정하게 유지되었으나, 실험종료일 82% 제거효율이 급감하였다. 이는 실험오차로 보인다. HyBF의 일정한 H<sub>2</sub>S 제거효율은 돈사 내부 H<sub>2</sub>S 농도가 거의 zero에 가깝기 때문일 가능성이 높다. 돈사 안에서 대기 중으로 바로 배출되는 A, B와 달리 HyBF 삭감부하가 VBF 및 HBF보다 적을 수 있다.



[그림 3.152] BF 종별 황화수소 삭감효율 분포

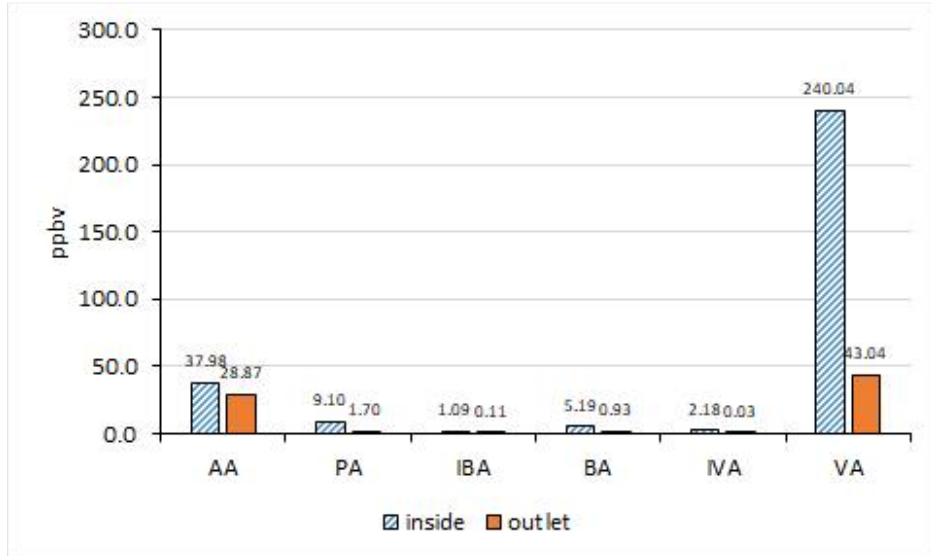
- [그림 3.152]는 A (VBF), B (HBF), C (HyBF) 바이오필터 H<sub>2</sub>S 제거효율 분포를 나타낸다. 분석결과 H<sub>2</sub>S 제거효율은 HyBF (99.31 %), HBF (90.92 %) VBF (72.74 %) 순(順)이었다. HyBF와 HBF의 H<sub>2</sub>S 제거 효율은 서로 유의적 차이는 없었으나 (p>0.05), VBF 바이오필터 가보다 유의적으로 높았다.
- [그림 3.153]은 A (VBF) 바이오 필터 실내·외 VFA 약취 농도 분석을 나타낸다. 모든 VFA 약취는 A 바이오필터를 통과 후 감소하였다. 아세트산 약취 농도는 65.73ppbv에서 20.66ppbv으로 68.56 %가 제거되었다. 프로판산 약취농도는 17.10ppbv에서 0.42ppbv로 감소되어 감소율은 97.54%이르렀다. 이소-부티르산 농도는 1.67ppbv→0.17ppbv(89.82 % 감소), 부티르산 약취농도는 11.55ppbv→0.64ppbv(93.72% 감소), iso-valeric산 약취농도는 4.13ppbv→0.03ppbv(99.27% 감소), 발레르산 약취농도는 95.33ppbv→1.87ppbv (98.03% 삭감)되었다. A 바이오필터에서 iso-valeric산의 제거가 거의 100%에 이르러 삭감율은 가장 높게 나타났다.



[그림 3.153] VBF(A)의 VFA 약취 실내외 농도변화

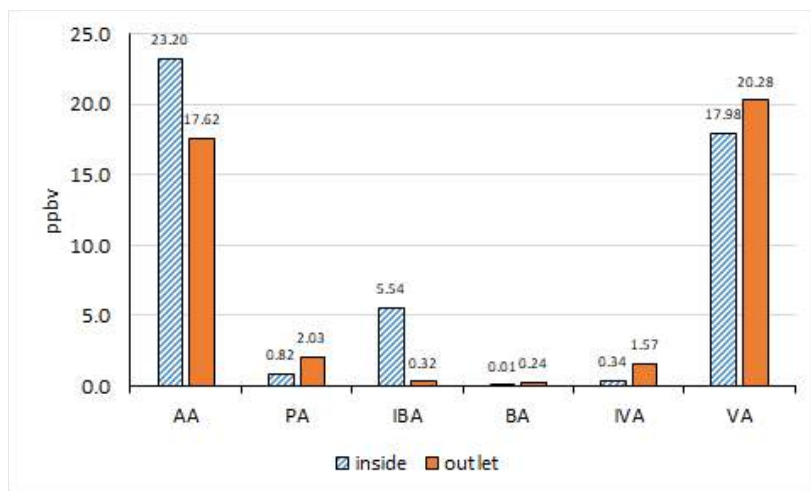
- B 바이오필터 실내·외 VFA약취는 변화는 [그림 3.154]와 같다. 아세트산 약취 농도는 37.98ppbv→28.87ppbv(23.98% 감소), 프로판산 약취농도는 9.10ppbv→1.70ppbv (81.31% 감소) iso-부티르산 약취농도는 1.09ppbv→0.11ppbv (98% 감소), 부티르산 약취농도는 5.19 ppbv→0.93 ppbv(82% 감소). iso-valeric산 약취농도는 2.18ppbv→0.03ppbv (98.62% 감소) 발레르산 약취농도는 240.04ppbv→43.04ppbv (82.07% 감소)로 분석되었다. VFA약취 중 B 바이오필터에서 iso-valeric산이 VFA 약취 삭감율 98.62%fh 가장 높게 나타났다.





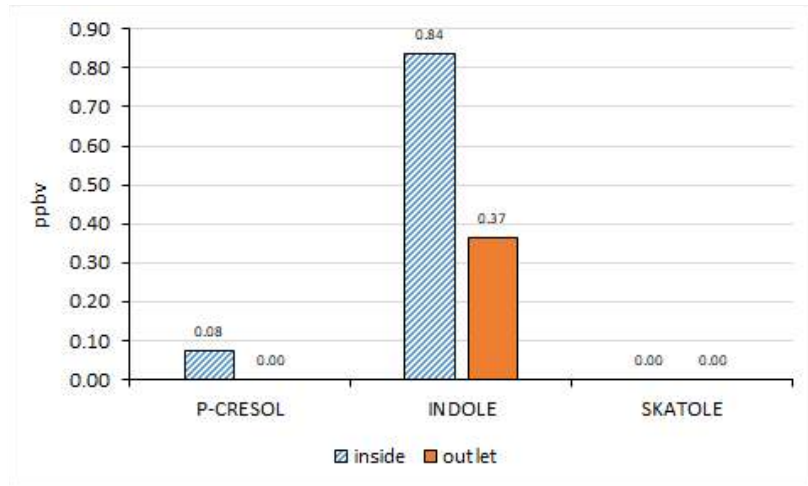
[그림 3.154] HBF(B)의 VFA 약취 실내외 농도변화

○ C 바이오 필터 시스템 실내외 VFA 약취 삭감율은 [그림 3.155]와 같다. 아세트산 약취 농도는 23.20ppbv→17.62 ppbv (24.05% 감소). 프로판산 약취농도는 0.82ppbv→2.03ppbv (147.56% 증가), iso-부티르산의 약취농도는 5.54ppbv→0.32ppbv (94.22% 감소), 부티르산 약취농도는 0.01ppbv→0.24ppbv (230% 증가), iso-valeric산 약취농도 또한 0.34ppbv→1.57ppbv (약 361% 증가), 발레르산 약취는 17.98ppbv→20.28ppbv (12.79% 증가) 분석되었다. A, B와 달리 C에서 아세트산과 iso-butyric acid 외 모든 항목이 증가하였다. 이는 바이오필터가 항상 돈사에서 나오는 약취를 감소시키는 것은 아니며, 일부 약취는 약취는 유기물의 부패로 바이오 필터 매질에서 방출될 수 있음을 의미한다.

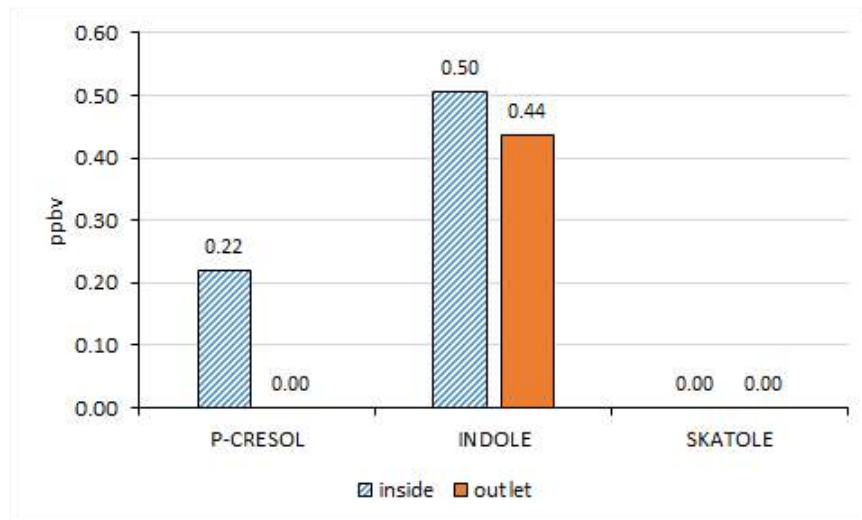


[그림 3.155] HyBF(C)의 VFA 약취 실내외 농도변화

○ [그림 3.156]은 A 바이오 필터 시스템 실내외 폐놀산 농도감소를 나타낸다. 폐놀산 약취 화합물은 p-크레졸, indole, skatole을 포함한다. p-크레졸 약취농도는 0.08ppbv에서 0.00ppbv로 zero화 되었다. indole 약취농도는 약0.84ppbv에서 약 0.37ppbv로 55.95% 감소되었다. skatole 약취는 검출되지 않았다. 또한, 폐놀약취도 매우 불안정 할 수 있다.

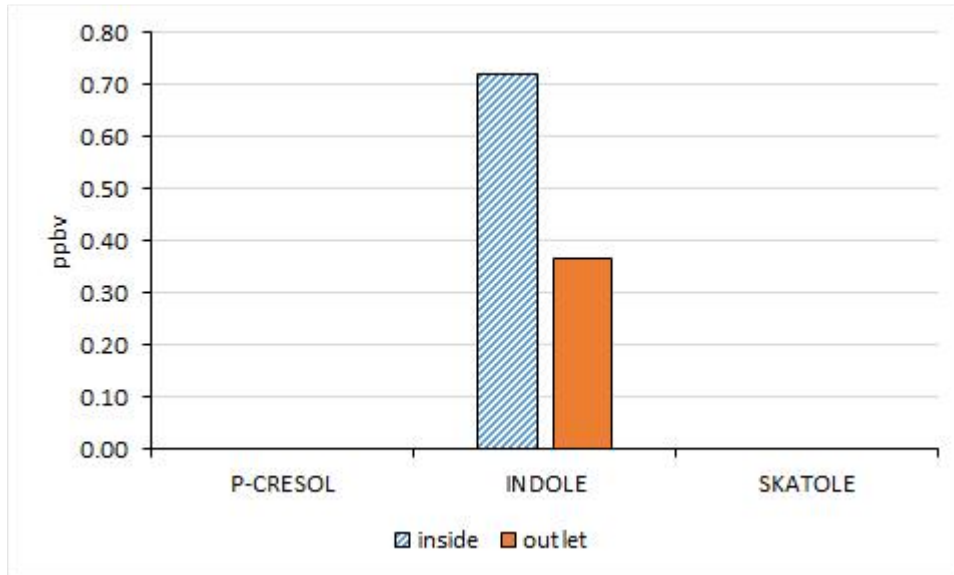


[그림 3.156] A BF 전후 폐놀 실내외 농도 변화



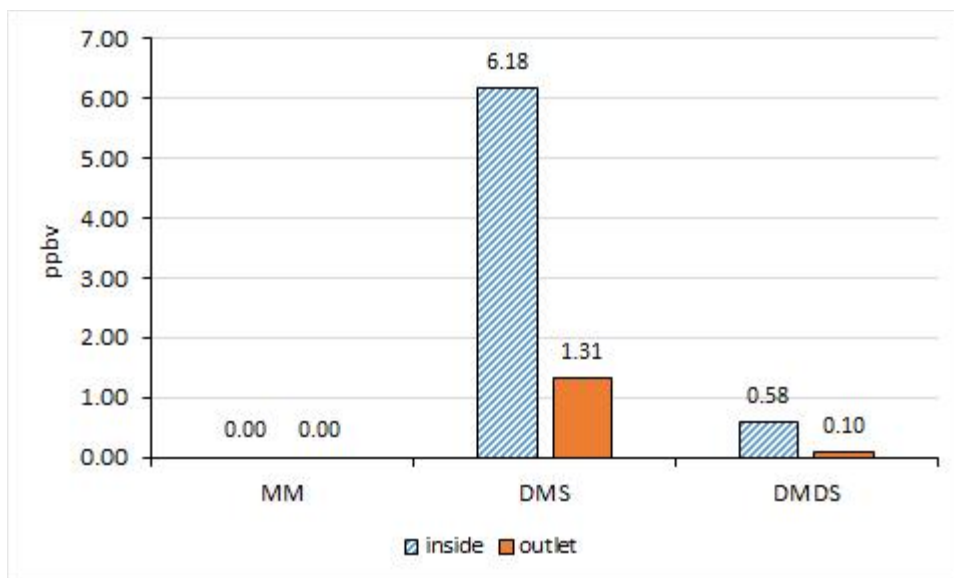
[그림 3.157] B BF 전후 폐놀 실내외 농도 변화

○ [그림 3.157]은 B 바이오 필터시스템 전후의 폐놀약취를 저감효율을 나타낸다. p-크레졸 약취 농도는 0.22ppbv에서 0.00ppbv로 100% 감소되었으며, 인돌 약취농도는 0.50 ppbv에서 약 0.44 ppbv로 12.0% 감소 되었다. 스카톨 약취는 A BF와 마찬가지로 검출되지 않았다.



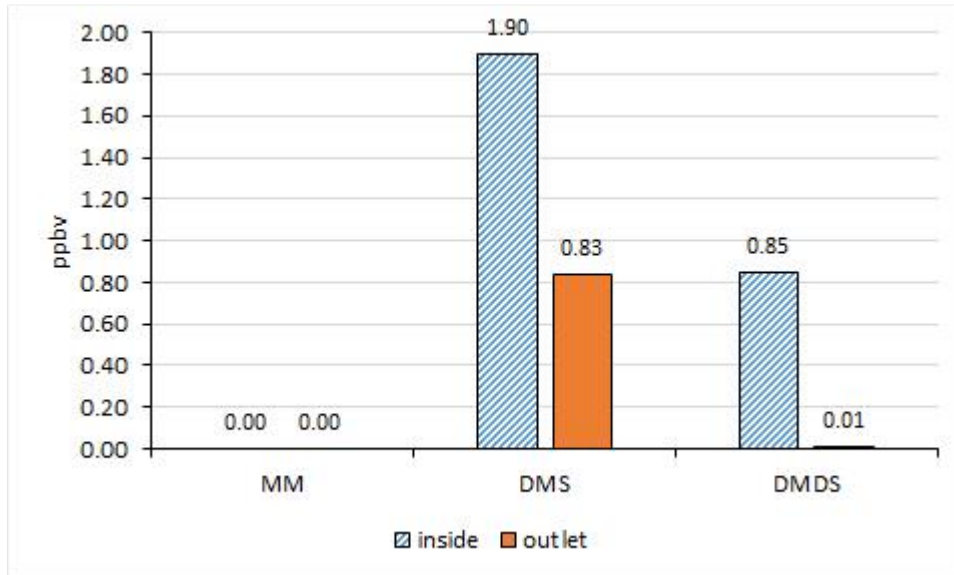
[그림 3.158] C BF 전후 페놀 실내외 농도 변화

- [그림 3.158]은 C 바이오 필터 시스템 전후의 페놀악취 농도변화를 나타낸 것이다. C 바이오 필터 시스템에서는 p-크레졸, 스카톨 악취는 검출되지 않았다. 인돌 악취 농도는 0.72 ppbv에서 0.37 ppbv로 48.6% 감소되었다.



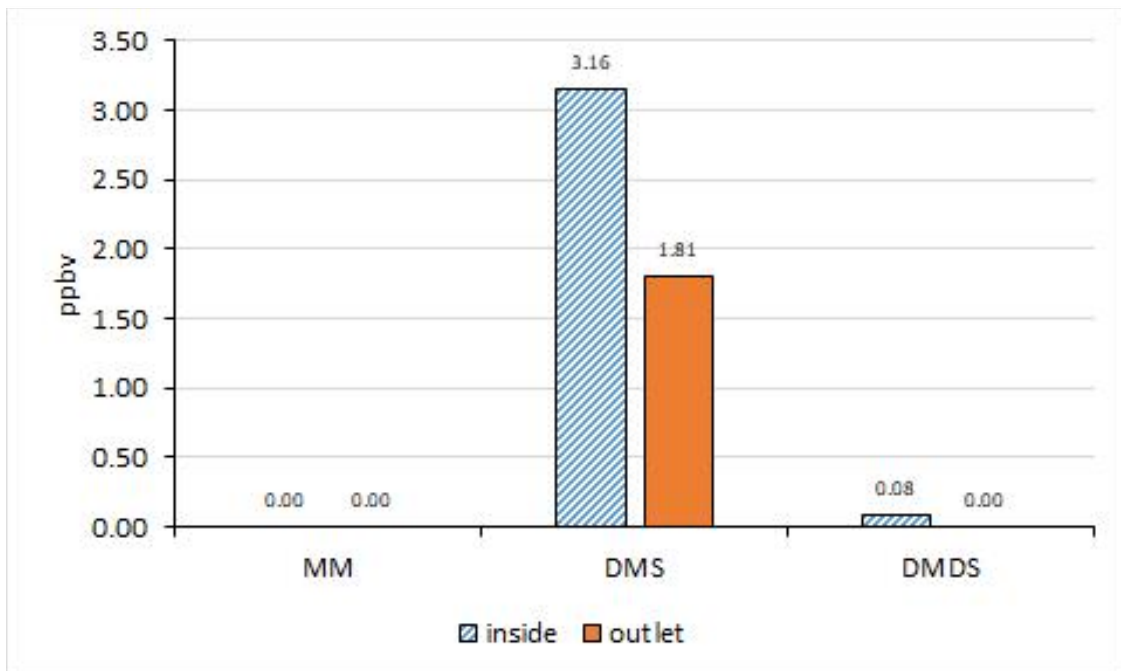
[그림 3.159] A BF 전후 황계열 악취농도 변화

- A 바이오 필터 시스템 전후의 황계열 악취(MM, DMS, DMDS) 농도변화는 [그림 3.159]와 같다. 메틸 메르캅탄(MM)은 검출되지 않았다. 디메틸 설파이드는 약 6.18ppbv에서 1.31ppbv로 78.80% 감소되었다. 디메틸 이황화물의 악취농도는 약 0.58ppbv에서 0.10ppbv로 82.75% 감소하였다.



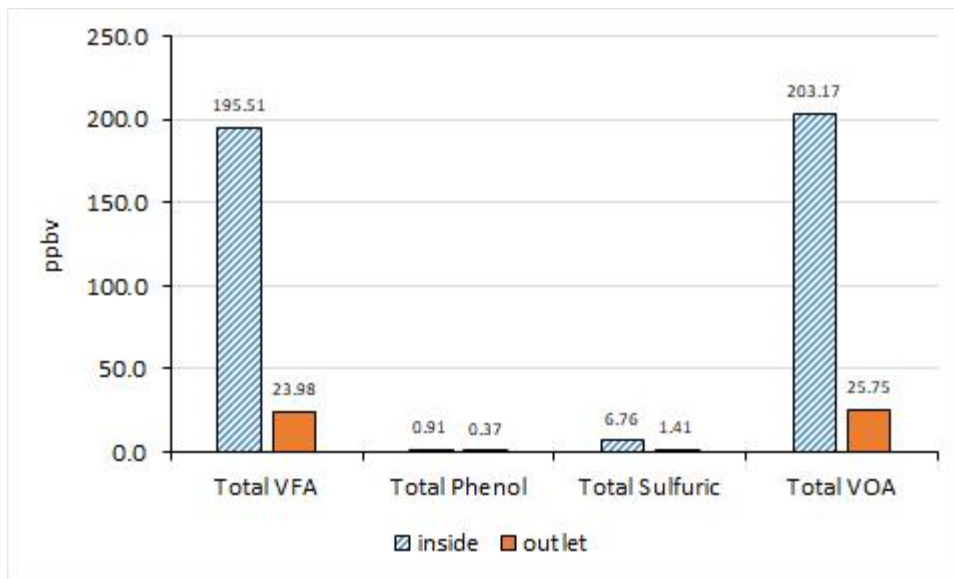
[그림 3.160] B BF 전후 황계열 악취농도 변화

○ [그림 3.160]은 실험 중 B 형 돈사의 바이오 필터 시스템 전후의 황 악취 농도를 나타낸 것이다. A 형돈사와 유사하게, B 형 돈사의 바이오필터에서는 메틸 메르 캡탄이 검출되지 않았다. 디메틸 설펜아이드는 HBF 바이오 필터 시스템 설치이후 약 1.90 ppbv에서 0.83 ppbv로 감소되었으며 약 56.31 %의 감소가 예측된다. 디메틸 이황화물의 악취 농도는 바이오필터 전 약 0.85ppbv에서 바이오필터 후 0.01ppbv로 약 98.82 % 감소하였다.



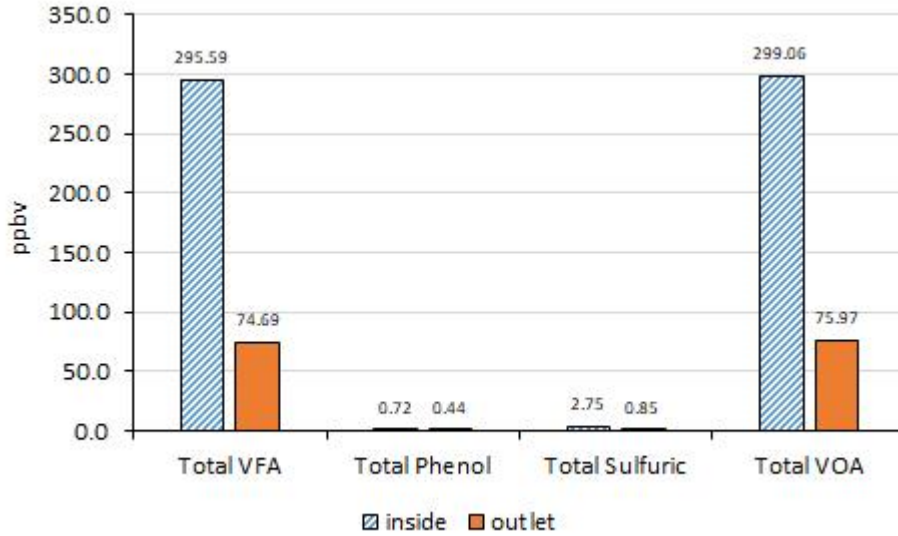
[그림 3.161] C BF 전후 황계열 농도변화

- C 바이오 필터 시스템 전후의 황계열 약취 농도는 [그림 3.161]과 같다. A, B와 비슷하게 메틸 머캡탄은 검출되지 않았다. 디메틸 설파이드는 HyBF 바이오 필터시스템 3.16ppbv에서 1.81ppbv로 42.72 % 감소하였다 디메틸 이황화물(DMDS)의 약취 농도는 바이오필터 전 약 0.08ppbv에서부터 바이오필터 후 0.00ppbv로 약 100 % 감소하였다.
- A 바이오 필터 시스템 전후의 총 휘발성 유기산(VFA) 약취농도 변화는 [그림 3.162]에서 보여준다. 총VFA 약취 농도는 바이오 필터 전 195.51ppbv에서 23.98ppbv로 87.73% 감소하였다. 바이오 필터 시스템 총 페놀 약취농도는 0.91ppbv에서 0.37ppbv로 59.34% 감소하였다. 황계열 약취농도는 바이오 필터 시스템 전 6.76 ppbv에서 1.41ppbv로 79.14% 감소하였다. . 일반적으로 VBF 바이오필터 시스템(A) 휘발성 유기산 약취는 203.17ppbv에서 25.75ppbv로 87.32% 감소되었다( $p < 0.05$ ).

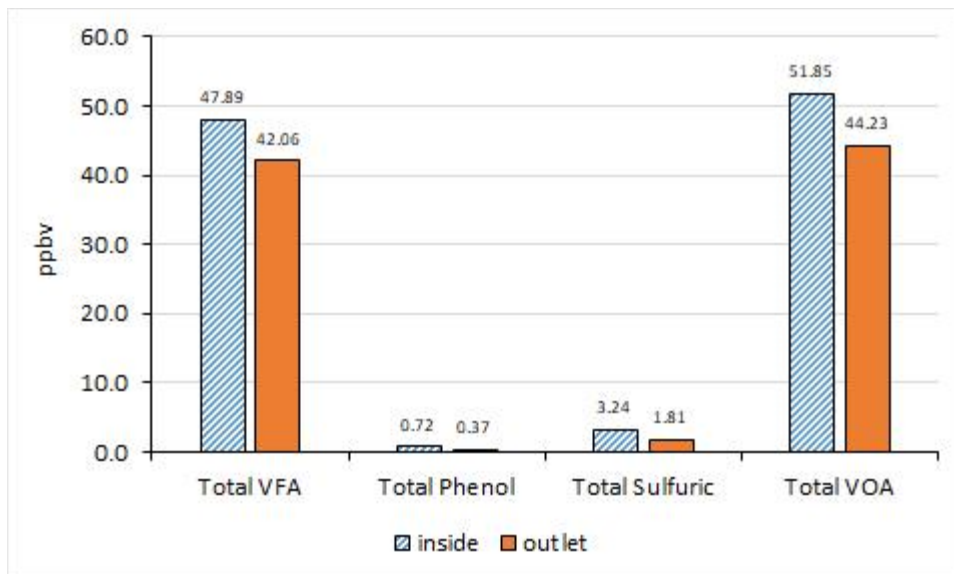


[그림 3.162] A BF전후 VOA 농도 변화

- [그림 3.163]은 B 바이오 필터 시스템 전후의 휘발성 유기산(VOA) 약취 농도를 나타낸다. 총 VFA 약취농도는 295.59ppbv에서 74.69ppbv로 74.73 % 감소되었다. 총 페놀약취 농도는 0.72ppbv에서 0.44ppbv로 38.88%감소, 황계열 약취농도는 2.75ppbv에서 0.85ppbv로 69.09 % 로 감소하였다. HBF 바이오 필터 시스템 VOA (휘발성 유기산) 약취는 299.06ppbv에서 75.97ppbv로 74.59% 현저히 감소하였다( $p < 0.05$ ).
- [그림 3.164]는 C 바이오필터 시스템 전후의 휘발성 유기산 약취 농도를 나타낸다. 총 VFA 약취 농도는 47.89ppbv에서 42.06ppbv로 12.17% 감소하였다. 총 페놀약취 농도는 0.72ppbv에서 0.37ppbv로 44.13%, 황계열 약취농도는 3.24ppbv에서 1.81ppbv로 48.16% 감소되었다. HyBF 바이오필터 시스템이 결합된 C 바이오필터 시스템 51.85ppbv에서 44.23ppbv로 휘발성 유기산 VOA 약취를 14.69% 감소되었다.



[그림 3.163] B BF전후 VOA 농도 변화

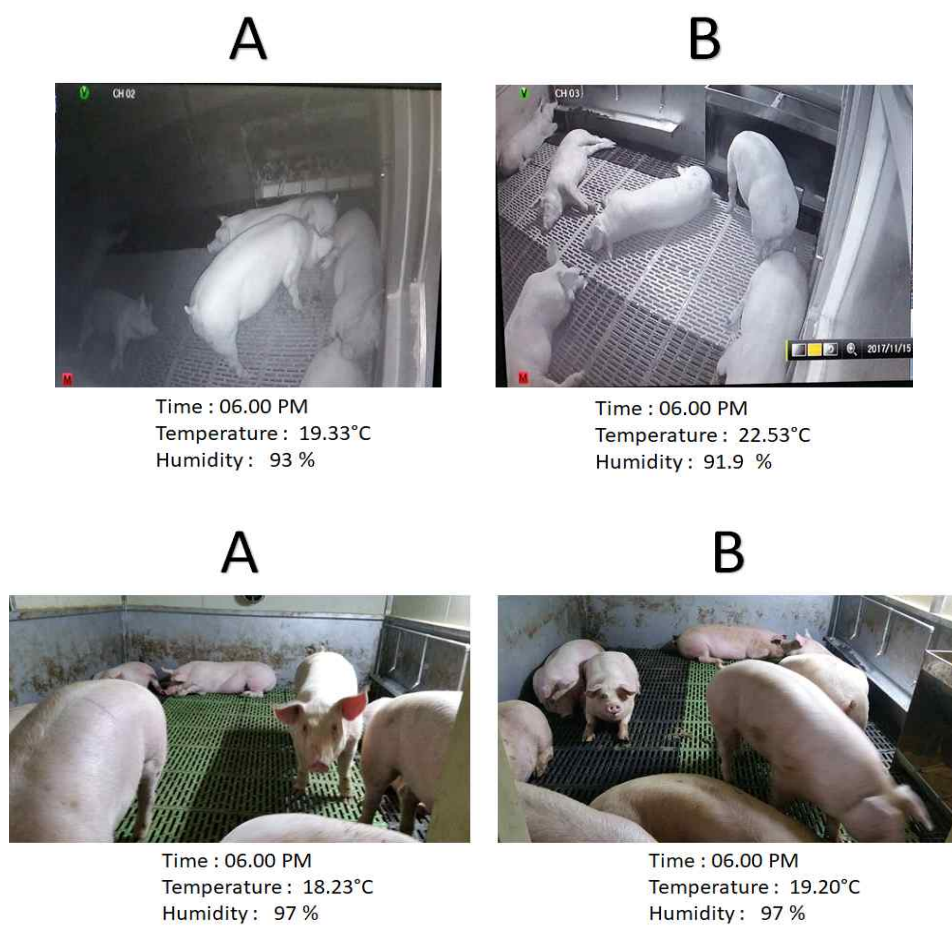


[그림 3.164] C BF전후 VOA 농도 변화

(9) 환경에 따른 돈군(豚群)의 행동(behavior) 관찰

- 본 연구에서 양극 환경, 즉, 추운 겨울과 더운 여름에 돼지 행동을 관찰하였다. 추운 계절 돈사내 돼지행동은 [그림 3.165]와 같다. 더운 여름 돼지 행동은 [그림 3.166]과 같다..
- 겨울철 돼지 행동은 외부 온도가 9~10℃ 인 2017 년 가을, 겨울에 걸쳐 관찰하였다. 겨울철에도 불구하고 돼지는 균포되어 흠어져 있다. 돼지는 여전히 추위 스트레스 증상을 나타내지 않고 정상적으로 활동하였다. 먹이, 음용 정상적이었다. 추운 계절에도 가운을 사용하지 않고

돈사 안의 온도를 18.23 - 22.53℃ 범위로 유지할 수 있었다. 이것은 ICT 시스템이 추운 계절에도 돼지를 위한 쾌적하게 유지 관리할 수 있게 환경을 제어하였기 때문이다.



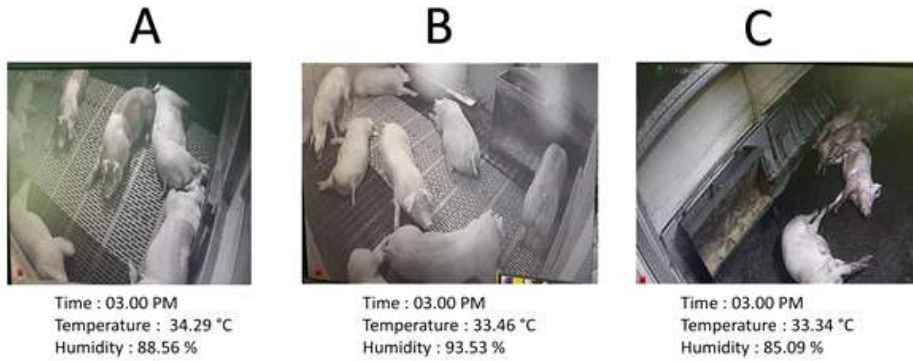
[그림 3.165] 겨울철 돼지 행동

- [그림 3.166]에서는 여름철 돈사 내의 돼지 행동을 보여준다. 관찰에 의하면, A, B 및 C 모형돈사 모두 돼지가 정상적으로 분산되어 있으며 한 곳에 몰리지 않았다.
- [그림 3.166]에 따르면 돼지가 미세 환경조건 내 (89%~93 %의 습도 및 31℃~32℃ 주변의 온도)에서도 여전히 편안함을 느낀다고 여겨진다 A 돈사의 돼지들이 B, C 돈사보다 깨끗하고 건조하게 보이는 것은 A 돈사의 공기중 미립자가 적고 그로인해 돼지 피부에 묻는 dirt 적기 때문이다.
- 돼지는 정상적인 먹이 섭취 습성을 보였다. 그러나 주간 고온에 달했을 때 일부는 고온을 극복하기 위해 가벼운 헐떡거림(panting) 행동을 보였다. 일반적으로 ICT PLC는 냉방장치 없이 더운 여름철에도 돼지의 쾌적한 환경을 조상하고 관리할 수 있게 한다. ICT 시스템은 더운 여름이나 추운 겨울에도 작동된다.

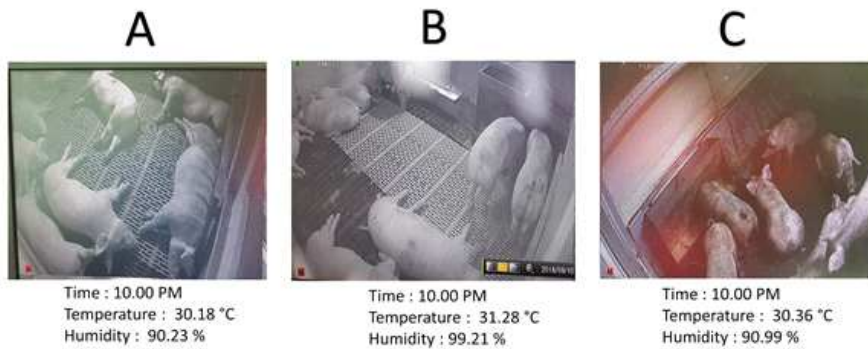
Date :  
20180710



Date :  
20180801



Date :  
20180810

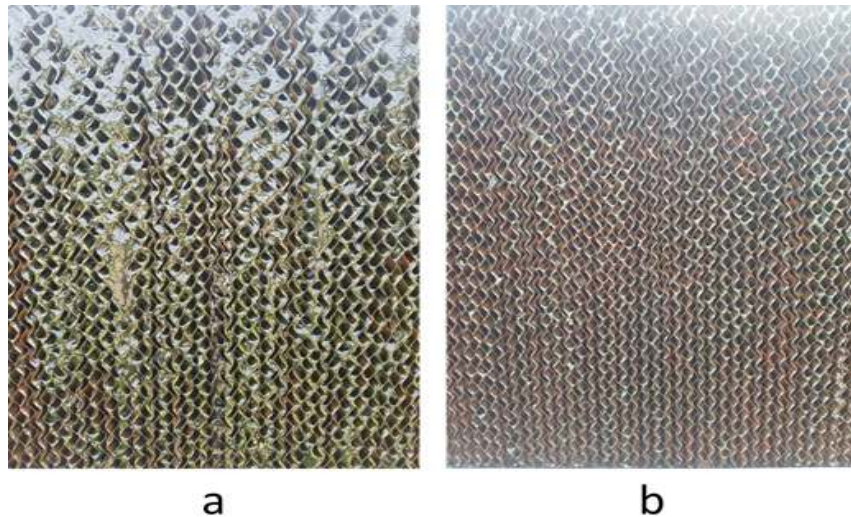


[그림 3.166] 여름철 돼지 행동



(10) 혹서기(酷暑期) 운영 체계

- 8월 중순 실험지점 평균 낮 외기온은 35~36℃ 범위로 최대 환기율에도 돼지들에게 열해(熱海)가 예상되어 돈사문을 열었다.
- 일정 시간이 지나면 증발 냉각 시스템용 냉각 패드가 특히 여름철에는 바이오필름에 의해 차단된다. 블록형 냉각 패드는 패드를 통과하는 공기를 차단하고 냉각 패드 성능을 감소시켜 공기냉각 성능이 떨어진다. 따라서 냉각 패드 기능을 회복하기 위하여 냉각 패드를 청소하였다. ([그림 3.167]).



[그림 3.167] 증발냉각시스템 냉각패드 (a) 세척전 (b) 세척후



[그림 3.168] 한 여름 전도열 저감 돈사지붕 스프링클러 설치

- 여름철 냉각을 위하여 증발냉각수에 의한 dripping 횟수를 늘리는 것이다. 또는 돈사의 지붕에 물을 뿌려서 돈사 열전도를 최소화함도 방법일 수 있으나 애초 돈사설계시 단열을 높이는 것이 가장 바람직한 방법이다. ([그림 3.168])
- 여름철 최대 환기율에도 사육실 내 열해를 줄이기 위해 돈사 문을 개방하였다. (그림 3.169 ~그림 3.171).



[그림 3.169] 한 여름철 개방 A 돈사 내부실상도



[그림 3.170] 한 여름철 개방 B 돈사 내부실상도



[그림 3.171] 한 여름철 개방 C 돈사 내부실상도

#### (11) 돈사 종별(種別) 돼지와 사료효율에 미치는 영향

- 본 연구에 적용한 ICT 시스템은 축산 활동으로 인한 최적 환경제어를 목적으로 한다. ICT는 돼지 생산성을 가장 중요한 지표로 고려해야 한다. 따라서 돼지 생산성을 분석하였다. [표 3.16]은 ICT 시스템 적용시 사육 돼지 체중과 사료 섭취량 분석자료이다.
- [표 3.16]에 나타난 자료에 따르면 A 형, B 형 및 C 형 최종 평균 돼지 체중은 각각 103.50 kg, 107.50 kg 및 109 kg이다. 각 유형의 돈사간 돼지의 최종 무게는 큰 차이가 없었다 ( $p < 0.05$ )
- 110 일의 사육 기간 동안 A 형, B 형 및 C 형 돈사에서의 평균 사료 섭취량은 1.90 kg / day / head, 2.07 kg / day / head 및 2.02 kg / day / head였다. A 형 돈사의 돼지들은 실험 도중 먹이를 적게 먹었다. 이것은 몇 가지 요인이 관련되어있을 수도 있지만 대부분 유전 요인이 아닌 환경 요인에 기인한다고 설명 할 수 있다. 우리의 관찰에 기초하여 A 형 돈사는 B 형 돈사와 C 형 돈사보다 높은 암모니아와 휘발성 유기산 악취를 나타냈다. 이는 심한 악취 상황에서 돼지도 불편 함을 느끼고 사료 섭취량이 줄었을 가능성이 있다.

○ [표 3.16]은 A, B, C 돈사에서 돼지 생산성을 분석한 자료이다. [표 3.16]에 따르면 사육돼지의 평균 일증체는 각각 0.72 kg/일/두, 0.76kg/일/두, 0.76kg/일/두였다. B, C 돈사 돼지의 일증체는 같았으며, A 돈사 돼지 증체가 낮음에도 불구하고 통계적으로 차이는 없었다( $p > 0.05$ ).

[표 3.16] 돈사종별 돼지 생산성 분석

특성/돈사 종별(種別)	A	B	C
Average weight (kg)	103.50 ± 8.34	107.50 ± 8.15	109.00 ± 15.46
Average feed intake (kg/day/head)	1.90	2.07	2.02
Average daily gain (kg/day/head)	0.72	0.76	0.76
Feed Conversion Ratio	2.65	2.73	2.67

○ 사료전환율은 단위 사료당 증체 전환효율을 의미한다. 사료전환율(FCR)은 표준 지표로서 사료 또는 사료 효율을 명쾌하게 보여준다. 실험 결과에 따르면, A 2.65, B 2.73, C 2.67로서 B가 가장 높게 나타났으나 통계학적으로 유의하지 않았다. ( $p > 0.05$ ). 관행적 돼지 평균 FCR은 3~ 3.5 범위인 것을 고려하면 본 연구에서는 FCR은 2.65~2.73의 범위로서 관행보다 약 10% 효율개선 효과가 있는 것으로 나타났다. ICT 적용 등 여러 가지 요인이 사료효율 향상에 기여한 것으로 판단된다.

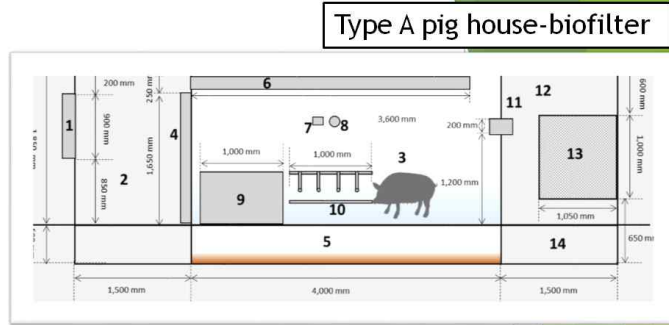
#### 4. 모형돈사 종별(환기+BF)시스템 성능평가 및 실험(2차 실험)

○ 2차 실험은 늦은 봄에서 여름철(2018. 5.8~8.26) 수행되었으며, 3차 실험은 이른 가을부터 이른 겨울까지 (9.3~12.4) 수행하였다. 목차에 따라 분석결과를 서술한다.

##### (1) ICT적용 A형돈사-BF 성적평가

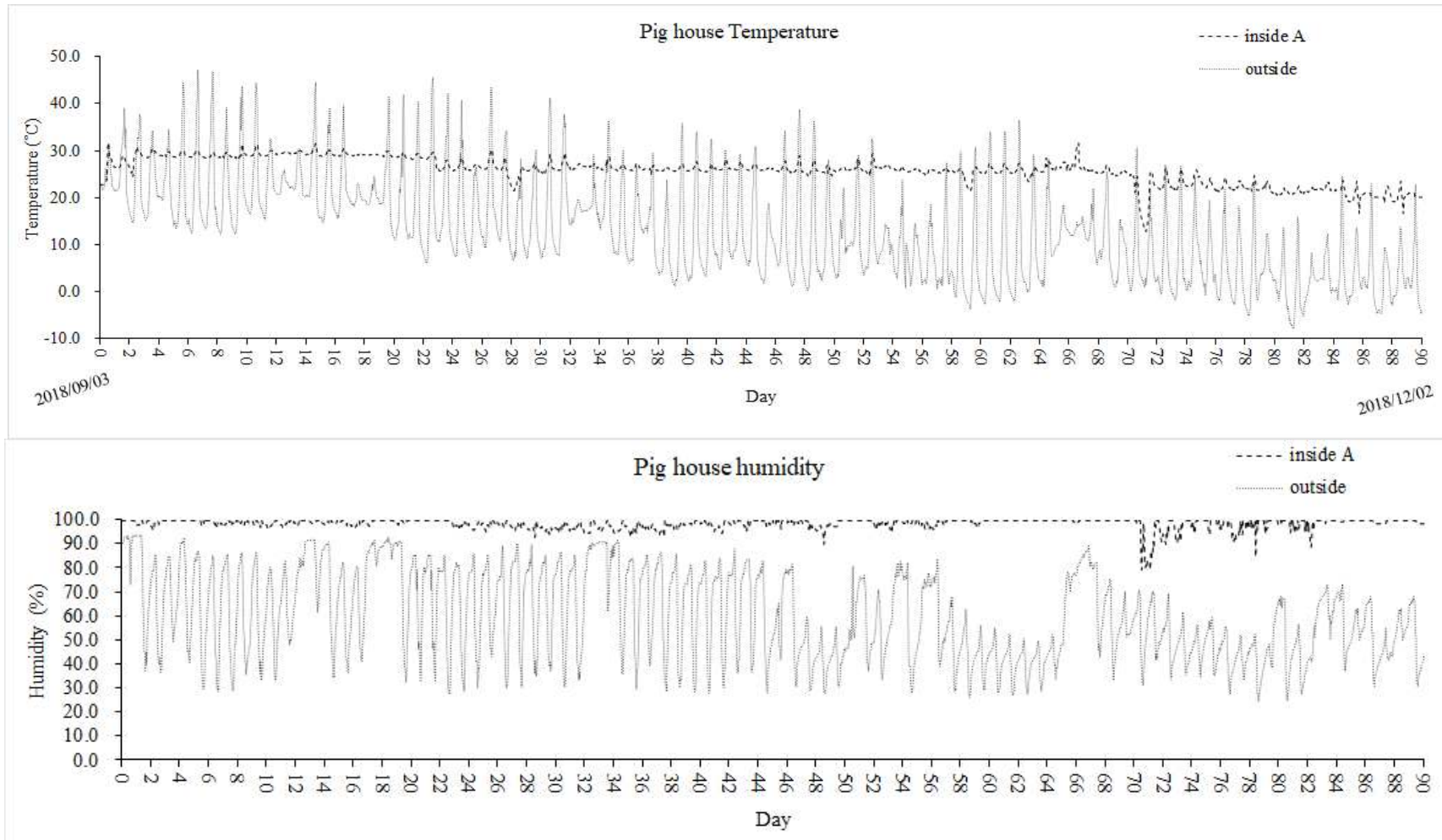
○ [그림 3.172]는 모형돈사의 A 실상도이다. 입식초기 평균체중 42.1kg, 10두를 대상으로 실험하였다. A 기온 및 습도 경시적 변화는 그림4.2와 같다. 실험이 기본적으로 늦은 여름에서 이른 겨울 사이에 수행되었다. 기본적으로 외기온 변동하나 실내(설정)온도는 21℃를 유지하려 하였다.

Category	Description
Pig number (head)	10
Male (head)	5
Female (head)	5
Average body weight (kg)	42.1



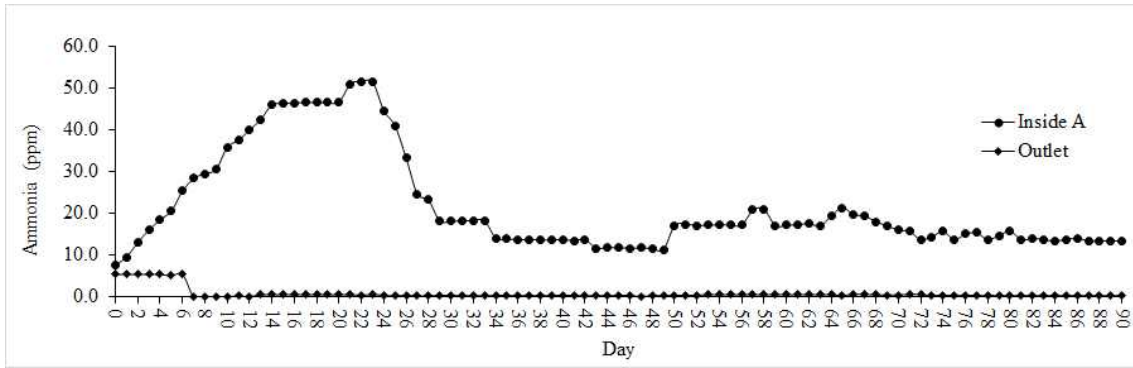
[그림 3.172] 3차 실험 A 모형돈사 실상도

- ICT 적용 A돈사 실내온도를  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  설정하여 실내온도가 이 범주를 벗어나면 즉,  $23^\circ\text{C}$  이상 되면 ICT PLC(Programmable Logic Controller)에 의해 환기율을 높인다. 최대 환기율에 이르면 더 이상 실내온도를 낮출 수 없으므로 냉각열을 통해 설정온도에 이르도록 보조열원을 사용해야 한다. 만약 실내온도가  $19^\circ\text{C}$  이하로 떨어지면 고온과 마찬가지로 환기율 조정으로, 궁극적으로는 난방열로서 설정온도에 이르도록 보조열원이 필요하다.
- 상대적으로 A 경시적 습도 변화는 [그림 3.173](下)와 같다. 상대습도는 80~98%의 범주로서 일반적으로 적정습도대인 70%보다 높게 분석되었다. 기본적으로 상대적으로 높은 외기온을 증발냉각시스템에 의해 저감시켜 사육실로 인입하므로 유입공기의 함수율이 높아질 수밖에 없다.



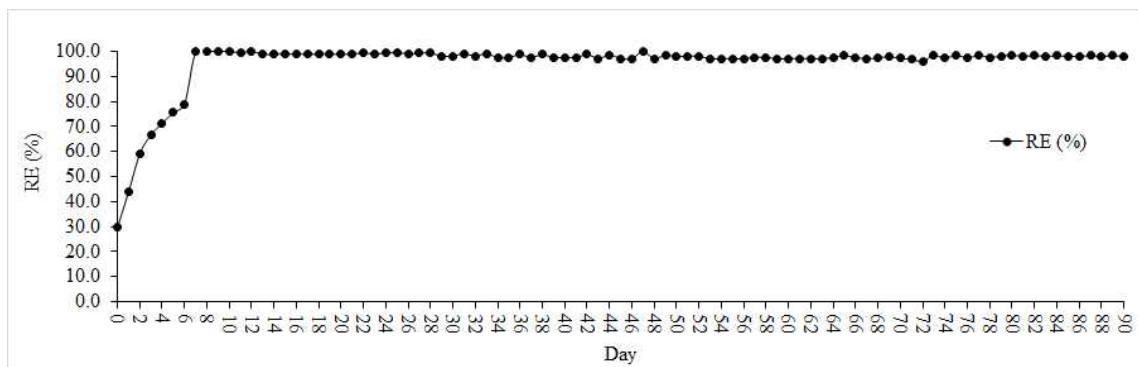
[그림 3.173] 3차 실험 모형돈사A의 경시적 온도(上) 습도(下) 변화

○ A의 경시적 암모니아 변화는 [그림 3.174]와 같으며 암모니아 범주는 7.1ppm~51ppm 분석되었다. 사육20일 암모니아 농도는 51ppm으로 정점에 이르렀다. 이는 환기시스템의 부적절한 설계 때문으로 이해된다. 상대적 고온에도 불구하고 배기팬의 설계용량이 부족했기 때문으로 여겨진다. 바이오필터를 거쳐 외기로 배출될 때는 거의 0 ppm에 이르러 돈사 A의 바이오필터 효율은 거의 100%에 이르렀다.



[그림 3.174] 모형돈사 A 경시적 암모니아 변화

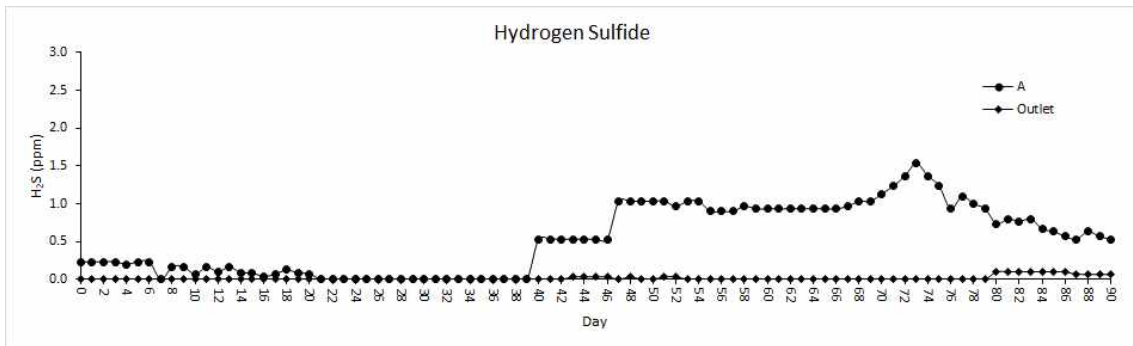
○ [그림 3.174]에서와 같이 실험60~90일 A 실내 암모니아농도는 10~20ppm 범주이었다. 상대적으로 실내 암모니아 농도가 낮은 것은 외기온과 관계가 있는 듯하다. 일반적으로 슬러리 온도가 25℃ 이상 고온이면서 pH가 높을 때 암모니아 휘산은 매우 활발하다. 실험후반기 외기온도 10℃ 내외이고 피트 내 슬러리의 온도도 20℃ 내외로 암모니아 휘산이 상대적으로 낮게 분석되었다.



[그림 3.175] 3차 실험 A 돈사의 암모니아 평균 삭감율 경시적 변화

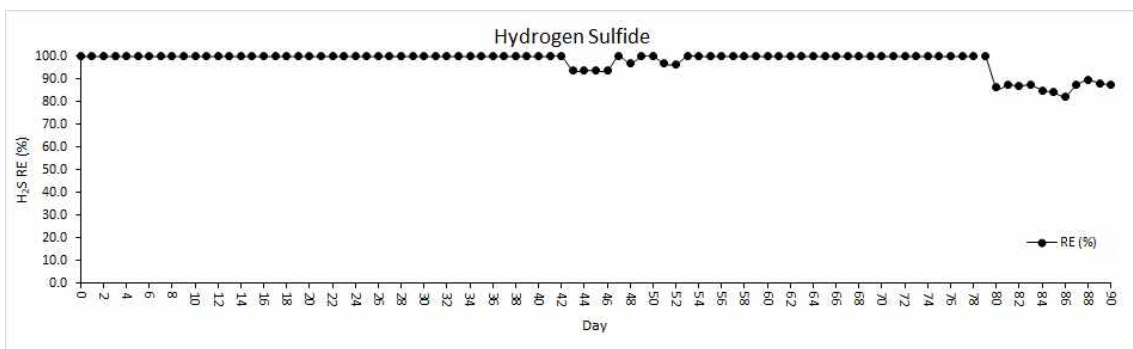
○ [그림 3.175]는 돈사A의 바이오필터 암모니아 농도 삭감율을 나타낸 것이다. 초기 7일 정도를 제외하고는 거의 100% 암모니아 삭감율을 보인다. 초기 일주일엔 재순환 펌프의 고장으로 제대로 처리수가 재순환되지 못한 때문으로 삭감율이 낮은 듯하다. 순환펌프 수리 후 암모니아 삭감율은 거의 100% 수준으로 실험 90일까지 98%의 삭감율을 보였다. 실험종료 10일간의 암모니아 농도는 재순환수 모터의 고장으로 일시적으로 삭감율이 낮았으나 수리후 95% 정도로 개선되었다.

- 일정 기간 후 돈사A의 바이오필터 암모니아 농도 삭감율은 점차 감소하였다. 이는 바이오필터 재순환수가 암모니아로 포화된 때문으로 이해된다. 이런 경우 재순환수는 교체해야 한다. 본 연구의 경우 1.5개월 정도로서 규모에 따라 다를 수 있다.
- 암모니아 삭감율은 초기 7일 정도의 순화(accclimation)기간 후 매우 안정되어 실험종료일까지 98%~100%에 이르렀다.
- 모형돈사 A의 평균 황화수소 경시적 변화는 [그림 3.176]과 같다. A돈사 사육실의 황화수소 농도는 0~1.5ppm 범주에 있다. 실험72~74일 황화수소 농도가 2 ppm에 이르러 가장 높았다. 그러나 바이오필터실을 거친 후 황화수소 농도는 0~0.2ppm 범주로 저감되어 바이오필터시스템이 효율적임을 관찰하였다. 사육실의 황화수소 농도가 높은 것은 낮은 환기율 때문으로 인식되며 이는 혐기상태를 유발하여 황화수소 생성되는 것으로 판단된다.



[그림 3.176] 돈사 A의 경시적 황화수소 농도 변화

- [그림 3.177]은 A 모형돈사의 경시적 황화수소 삭감효율 경시적 변화를 나타낸다. 바이오필터의 황화수소 삭감율은 비교적 일정하다. 삭감율 90~100% 상대적으로 안정적 이었다.



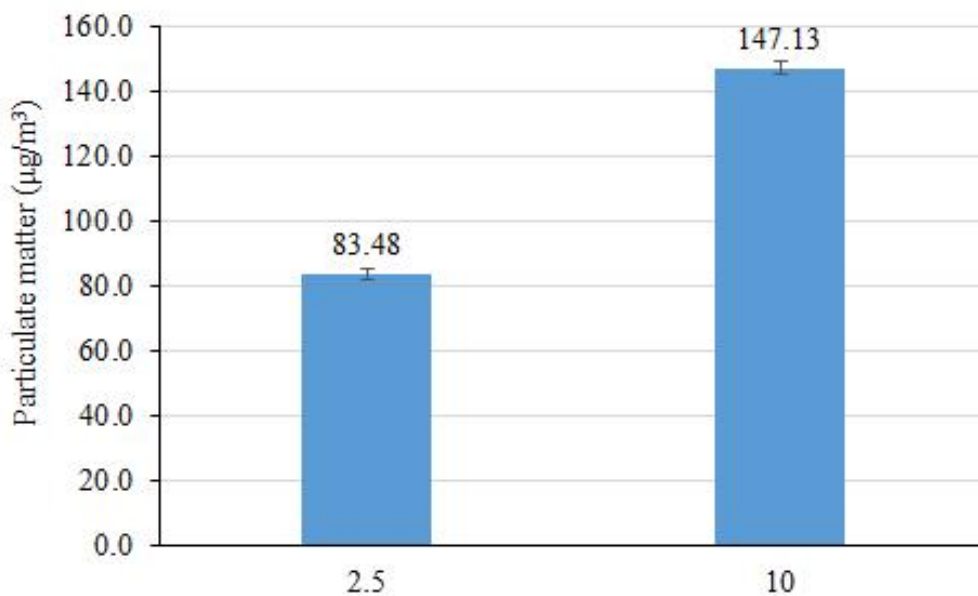
[그림 3.177] A돈사의 평균 황화수소 농도의 경시적 변화

- 돈사 A의 평균 VOA (휘발성 유기산) 농도는 [표 3.17]에 주어져 있다. 주된 악취물질은 VFA (휘발성 지방산)로서 38ppbv에 이르며, 98% 정도로 절대 양을 점유한다. 다음은 황계열로서 0.53ppbv, 페놀계로 0.26ppbv 순(順)이었다.

[표 3.17] A돈사의 VOA 농도

악취화합물	농도 (ppbv)
AA	12.26
PA	1.75
<i>m</i> BA	0.09
BA	0.01
<i>n</i> VA	0.14
VA	23.75
p-CRESOL	0.00
INDOLE	0.26
SKATOLE	0.00
MM	0.00
DMS	0.41
DMDS	0.11
Total VFA	37.99
Total Phenol	0.26
Total Sulfuric	0.53
Total VOC	38.78

○ 돈사A의 부유먼지 PM 농도는 [그림 3.178]과 같다. 돈사A의 경우, PM10밀도는  $147.13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 PM2.5  $83.48\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 훨씬 높았다. 부유물질은 사료, 피부탈락편, 깔개, 건조분 등에서 유래되며(Maghirang et al., 1995), 비강(鼻腔)이나 폐포에 집적되어 호흡기 질환을 유발한다. 이유자돈 사육단계에서 가장 위해적 요소는 부유먼지, 부유세균, 악취 등이다. 이들 요소들의 농도는 돈사 형태, 사양관리에 따라 다르다.

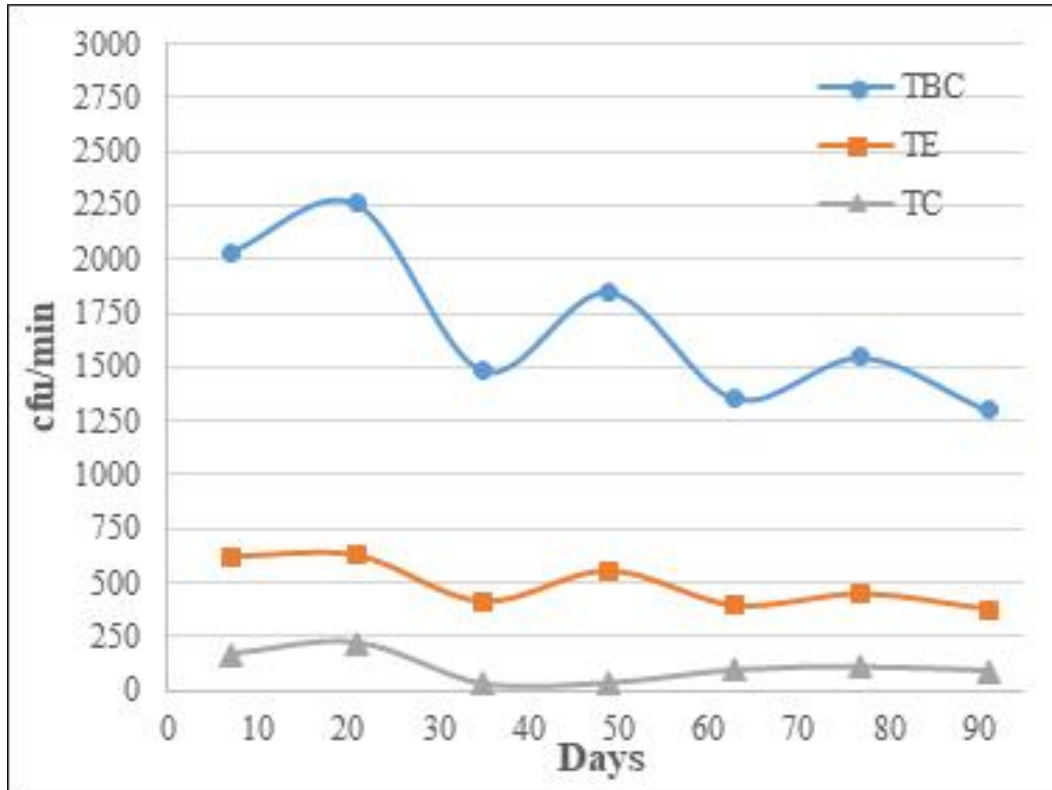


[그림 3.178] 돈사 A의 부유먼지 농도 분포



○ 부유세균 (Aerial microbes) :

가. A 돈사의 부유세균 밀도는 TBC가 가장 높고 TE, TC 순(順)이었다. TBC의 밀도는 TE, TC 보다 현저히 높다. 기본적으로 부유세균은 돼지의 분변, 사료, 음수의 토착미생물, 돼지 피부, 바닥, 작업인에 상재(常在)세균에서 유래된다.

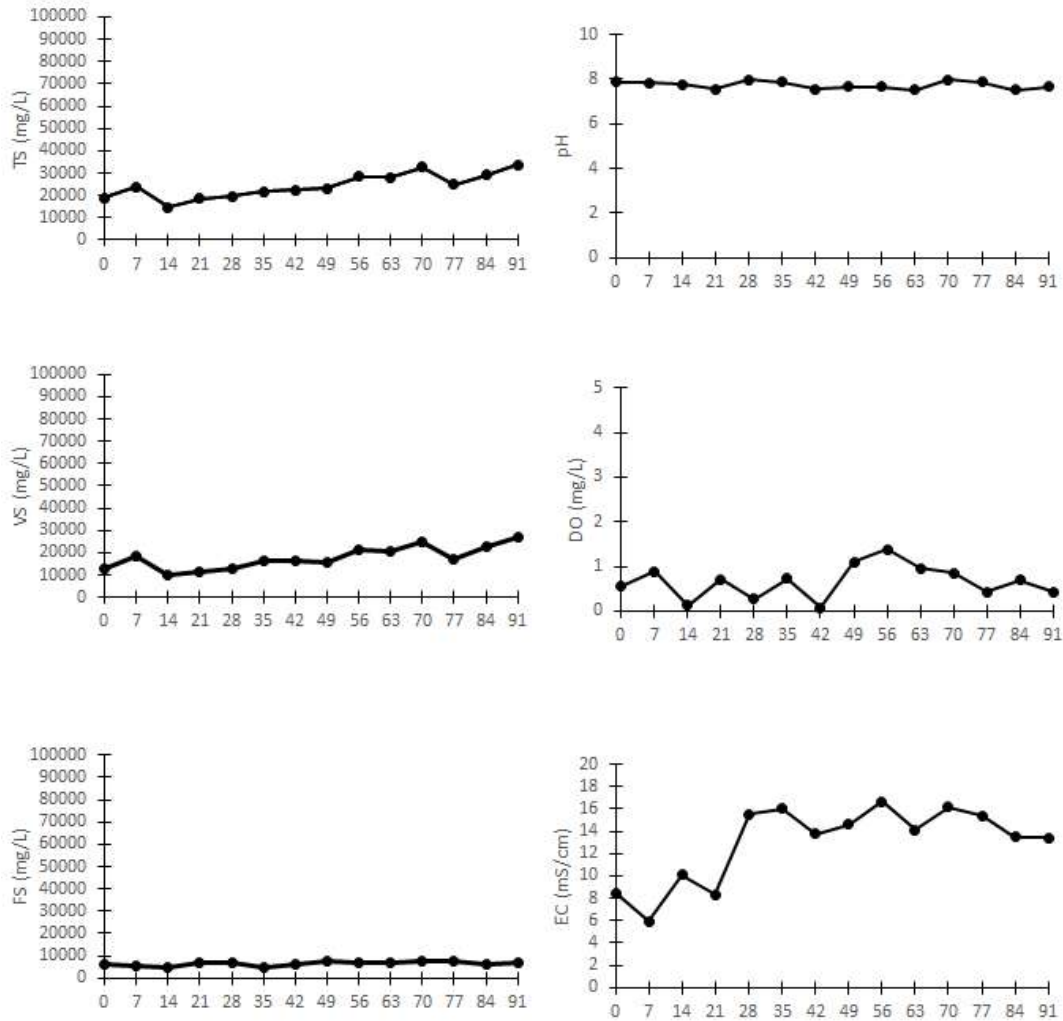


[그림 3.179] A 돈사의 부유세균 밀도 경시적 변화

나. A돈사의 경시별 세균밀도는 [그림 3.179]와 같다. TBC, TE, TC 밀도가 등락을 반복하지만 경시적으로 감소 추세이다. 이는 실험 최종10여 일간은 실내기온이 떨어져 활동이 적어진 때문일 수 있다. 여름보다 가을 초겨울의 부유세균 밀도가 높았다. 이는 미립먼지의 농도가 여름보다 높았기 때문에 먼지와 흡착된 부유세균이 높아진 때문으로 이해된다. 외기온이 낮아지면서 실내온도를 유지하기 위해 환기율이 저하되어 부유먼지와 부유세균 밀도가 높아진 때문으로 이해된다.

다. 돈사 A의 부유세균 밀도는 경시적으로 정상(定常)상태에 이르지 못했다. 이는 돼지가 성장하면서 분뇨발생이 많아지고 피트 재순환시스템으로 혼합으로 인한 부유세균이 공기중으로 발산되었을 가능성이 크다.

○ 돈슬러리 특성(Swine slurry characteristic) :

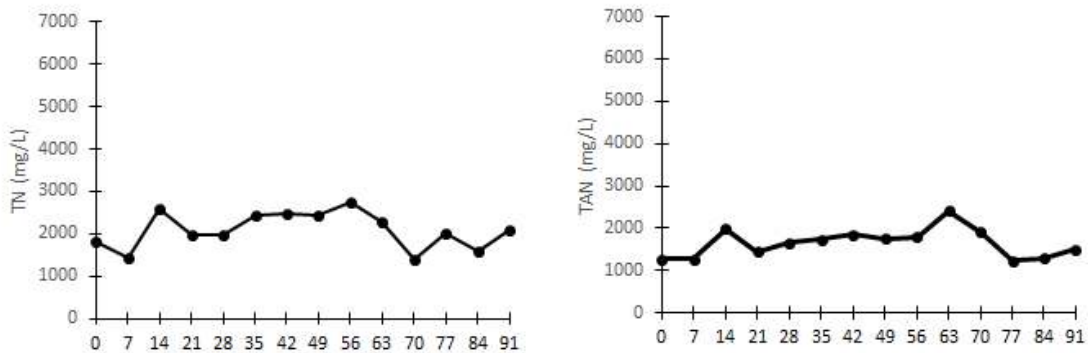


[그림 3.180] 돈사 A 돈슬러리의 이화학적 특성

가. [그림 3.180] 돈사 A 돈슬러리의 이화학적 특성을 나타낸다. 호기처리 (jet bubble)한 처리수를 피트로 실험기간 80 liter/시간 배출-반입을 지속하였다. 돈슬러리의 pH 7.74정도로 매우 일정하였다.  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ 의 균형에서 처리수의 pH 9.2 넘으면 암모니아 기체로 휘산되므로 pH관리는 세심한 주위를 기울려야 한다.

나. 돈슬러리의 염류농도가 상승하면서 전기전도도 (EC: electric conductivity)도 증가한다. EC는 돈슬러리에 용존염류 농도를 나타낸다. 돈슬러리의 호기성 처리시 용존염류가 증가하고 고로 EC도 증가한다. 돈슬러리의 용존산소 농도는 2mg/l 정도로서 실험기간 중 DO 등락(騰落)을 반복하였다. 피트 돈슬러리의 용존산소 농도는 호기조 때문에 약간 상승하였으나 용존산소 농도를 분석하면 피트 슬러리는 무산소(anoxic)나 혐기(anaerobic) 상태를 유지하였다.

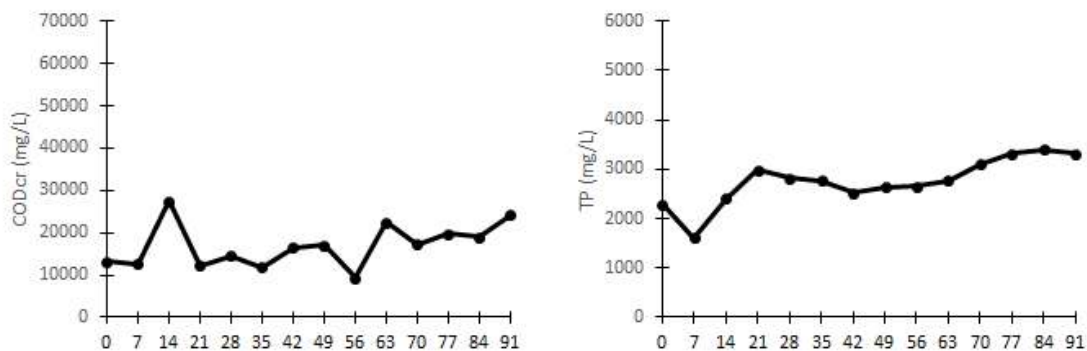
다. 혐기상태에서의 돈슬러리 발효분해 시 메탄, 암모니아, 황화합물, 여타 휘발성 물질을 생산한다. VFA는 악취화합물의 일종으로서 돈슬러리의 혐기발효시 생성되어 사육실 상상부(床上部)로 휘산된다.



[그림 3.181] 돈사 A 돈슬러리 총질소(左), 총 암모니아 질소(右) 경시적 변화

라. 실험1주일 돈슬러리의 총질소 농도 증가하기 시작하며([그림 3.181]), 따라서 공기중 암모니아 농도도 증가한다. 질소 실험63일 이후 서서히 감소하기 시작한다. 이는 공기중 암모니아는 슬러리 암모니아 농도에 비례한다. 총질소와 암모니아 질소(TAN)의 저감은 처리수의 재순환 때문으로 이해된다. 질산화작용 때문에 암모니아가 휘산된다. 실험종료 4주간 외기온이 낮아져 슬러리 저온도로 암모니아 발산이 감소된 때문으로 이해된다.

마. [그림 3.182]는 실험기간 중 돈사 A의 CODcr, 총인이 등락을 반복하나 전반적으로 증가하는 추세이다. 피트 돈슬러리의 유기물 농도가 증가하는 돼지의 분변증가로 인한 듯하다.



[그림 3.182] 돈사 A의 COD, 총인 경시적 변화

바. 본 실험의 총인 농도는 2759mg/l 분석되었다. 돈슬러리 폐수의 고형물을 제거하면 인 농도도 감소한다. 수처리 공정에서 고형물 제거가 없으면 고형물에 흡착된 총인의 농도는 점차 증가할 것이다. 총인 회석으로 감소될 수 있다. 본 실험은 상대적 저온에서 수행되어 2차 실험(여름)시 보다 총인의 농도가 높게 나타났다.

## (2) ICT적용 B형돈사-BF 성적평가

○ [그림 3.183]은 모형돈사 B 실상도이다. 입식시 평균 체중 42kg 돼지 10두를 실험대상으로 하였다. 모형돈사 B의 온도 및 습도 경시적 변화는 [그림 3.184]과 같다. 본 실험은 9월초~12월초까지 수행되었다. 외기온은 점차 저하되었으나 내부온도는 20~25℃를 유지하여 실험하였다. 사육실 실내온도는 21±2℃로 PLC로 제어되었다. 실내 설정온도를 유지하기 위해서는 환기시스템, 냉각시스템, 가온시스템 등이 실내온도 습도에 따라 복합적으로 작동하였다. 환기시스템의 팬만으로 실내온도가 제어되지 않을 때는 가온이나 냉각시스템을 가동케하여 허용범위내로 실내온도를 넣도록 한다.

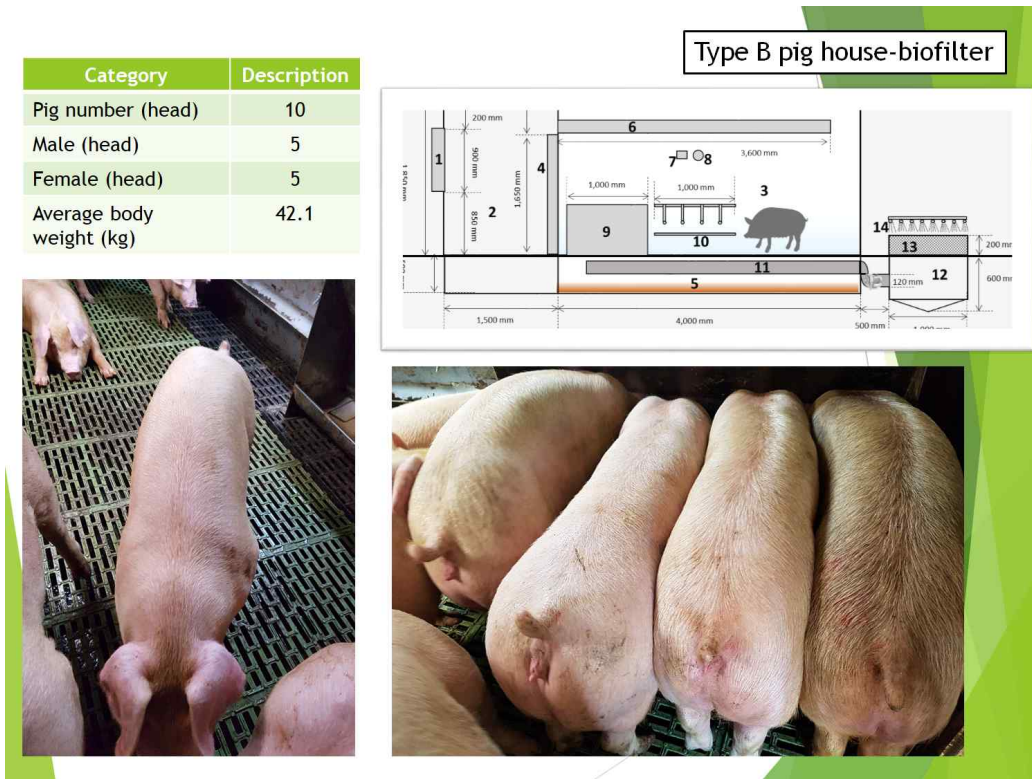
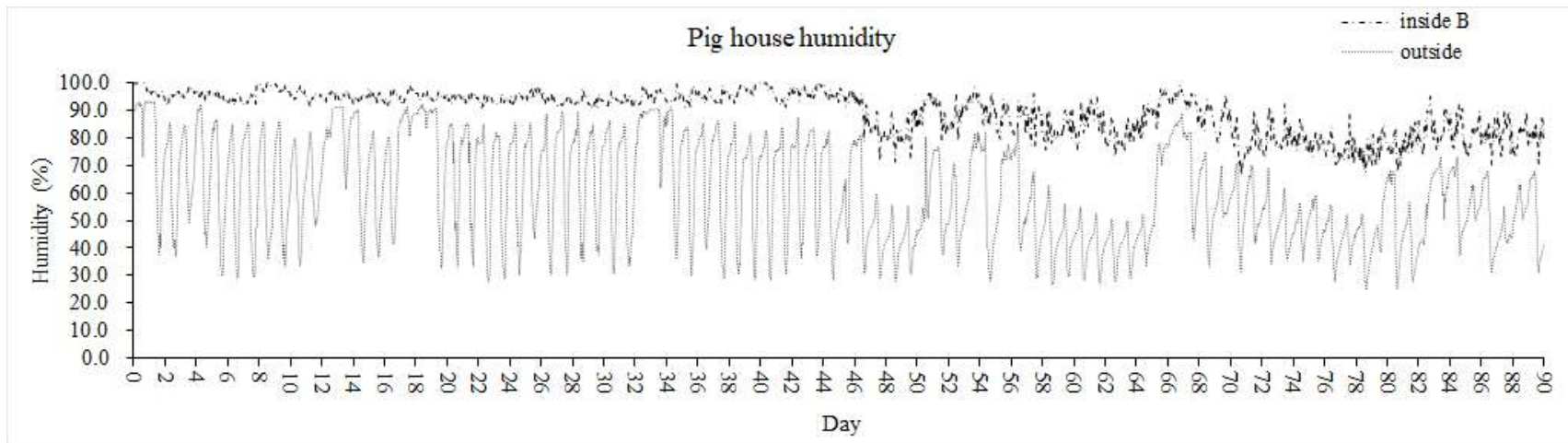
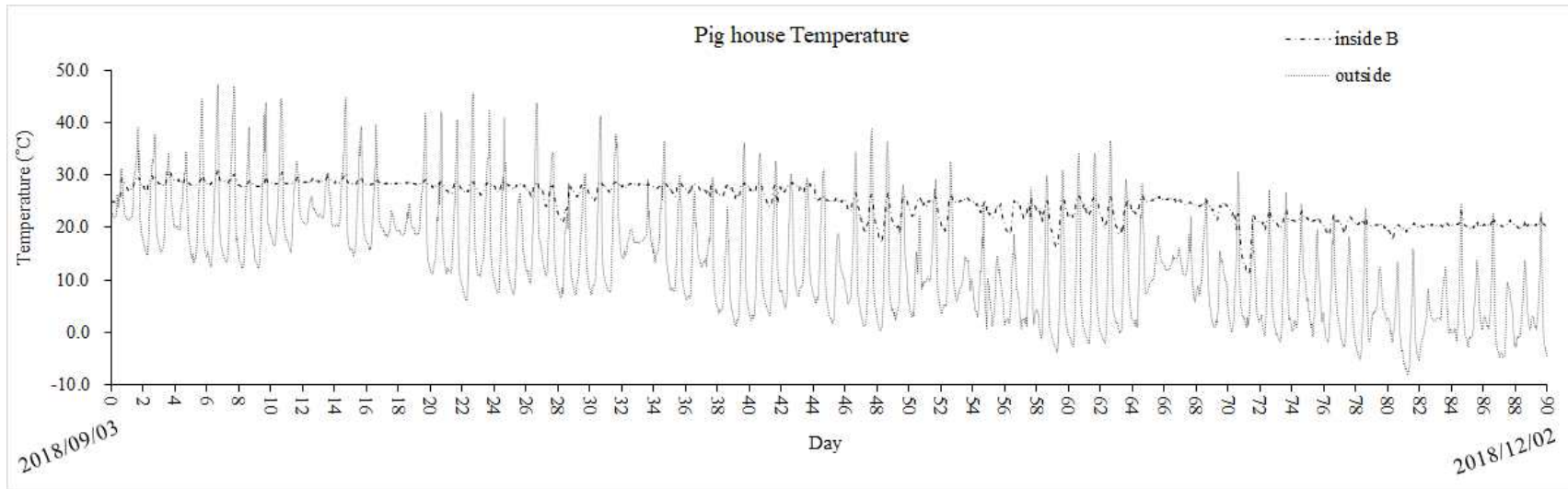


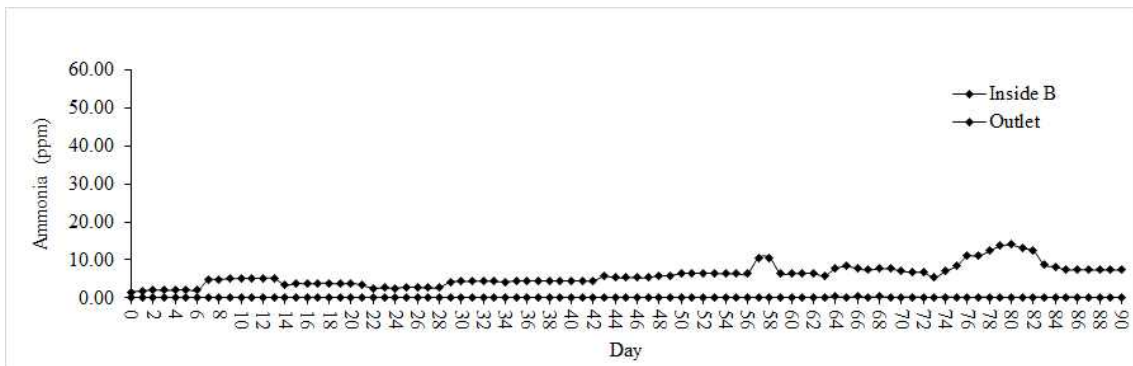
그림 3.183] 돈사B의 실상도

- 모형돈사 B의 ICT시스템은 자동 정밀가동되어 외부 온도가 등락을 거듭해도 실내온도는 일정한 범위를 유지하였다. 외기온이 설정온도 이하로 떨어질 때는 가온이 필요하다. 그러나 본 실험은 이른 가을에서 이른 겨울까지 실험을 수행하였으므로 가온이 필요없었다.
- 본 실험은 온도, 습도 경시적 변화는 [그림 3.184]와 같다. 상대적 외기온이 높은 9월, 10월중에는 cooling pad 가동하여 습도는 80~99% 범주에 있었다. 그러나 외기온이 떨어진 11월부터 가동을 중단하여 실내습도는 80%대를 유지하였다.

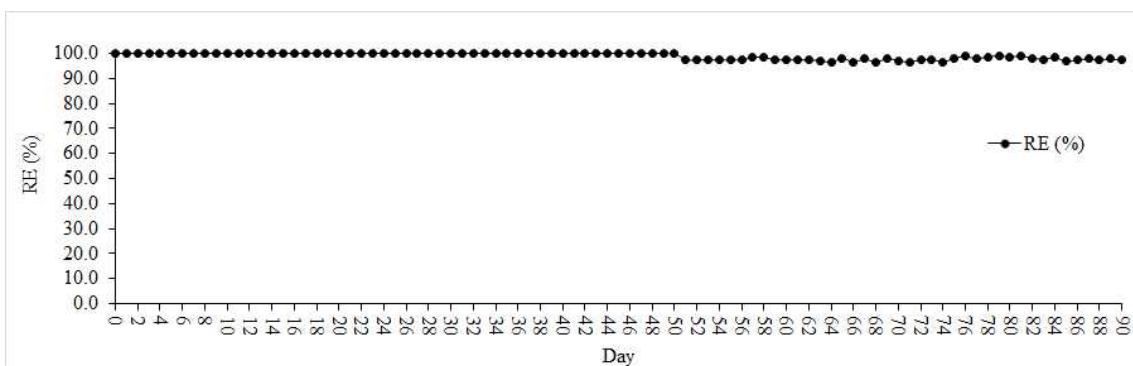


[그림 3.184] 모형돈사B의 경시적 온도(上) 및 습도(下) 변화

- coolong pad 의 기본 원리는 수증기(H<sub>2</sub>O)는 공기보다 약 1,000배나 열용량(cp : heat capacity, J/kg°C)크기 때문에 습도가 높은 경우 실내에서 흡열(吸熱)하여 실내온도를 낮추는 효과가 있다. 그러므로 습도가 높아지는 것을 감내하고도 특히 여름철 cooling pad(CP) 시스템을 사용한다. 특히 CP시스템은 중동(中東)과 고온건조한 기상조건에는 적합하다. 우리나라와 같은 고온다습한 기상조건에도 결코 다습의 위해(危害)보다 고온의 위해가 더 심각하기 때문에 혹서기에는 CP시스템을 활용한다.
- 사육실에서의 돼지 호흡에서 수분발산, 슬러리나 분변수분 증발 등에서 가습(可濕)된다. 겨울철 외기온이 낮을 경우, 환기율도 낮아지므로 실내 수분을 완전히 제거하지 못하고 집적되어 습도가 높아지는 경향이 있다. 그러므로 겨울철 환기는 습도제어를 위하여 여름철 환기는 온도제어하기 위하여 환기시스템을 가동하여야 한다.
- 돈사B의 암모니아 등락 변화는 [그림 3.185]와 같다. 사육실의 암모니아 농도는 1.6~14ppm 범주에 있으며, 실험78~82일에 암모니아농도는 14ppm 으로 가장 높았다. 돈사 B 사육실 암모니아 농도가 높은 것은 환기율과도 관계가 있는 듯하다. 설정온도에 따라 환기율이 PLC에 의해 제어되게 되어 있지만 설계 환기율이 낮다보니 암모니아의 희석이 제대로 되지 아니한 때문으로 이해된다.

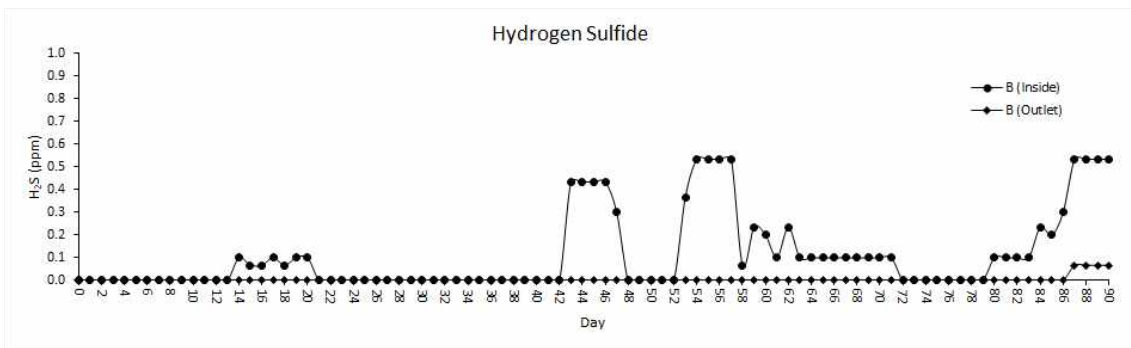


[그림 3.185] B돈사의 암모니아 경시적 변화



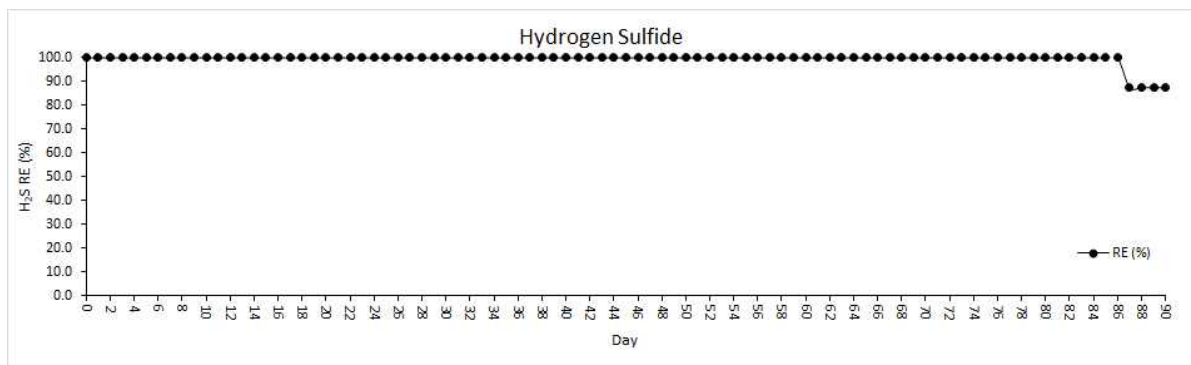
[그림 3.186] 돈사B의 경시적 암모니아 삭감효율 변화

- 돈사B의 경시적 삭감효율은 [그림 3.186]과 같다. 실험50일까지는 삭감율이 거의 100%에 이르며, 이후는 98%로 분석되었다. 거의 암모니아가 외부로 발산되지 않았다. 삭감율이 조금 감소된 것은 재순환수에 상대적 높은 암모니아 포화도 때문으로 여겨진다, 그러나 실험기간 내내 암모니아 삭감율이 95% 이상으로 biofilter(BF) 기능이 매우 양호하였다.
- 본실험에서 황화수소 농도 변화는 [그림 3.187]과 같다. 초기 황화수소농도는 거의 감지되지 않을 정도로 낮으나 외기온이 낮아짐에 따라 점차 등락(騰落)을 반복하였다. 기본적으로 실험14~20일 사이에는 황화수소 농도가 0.1ppm 이하이나, 실험42~48일, 실험52~58일에는 각각 0.4, 0.5ppm로 분석되었다. 실험종료10일간도 황화수소 농도가 0.5ppm에 이르렀다. 사육실 허용 황화수소 농도가 2ppm로서 실제 황화수소 농도는 0.1ppm으로 감지되어 허용치를 훨씬 밑돌았다.



[그림 3.187] 돈사B의 경시적 황화수소농도 변화

- 돈사B의 경시적 황화수소 삭감율은 [그림 3.188]과 같다. 실험86일까지 삭감율은 거의 100%이며, 실험 최종4일의 삭감율은 85%으로 분석되었다. 삭감율이 낮아진 것은 기본적으로 펌프의 고장으로 재순환이 제대로 작동되지 않았기 때문으로 판단된다.

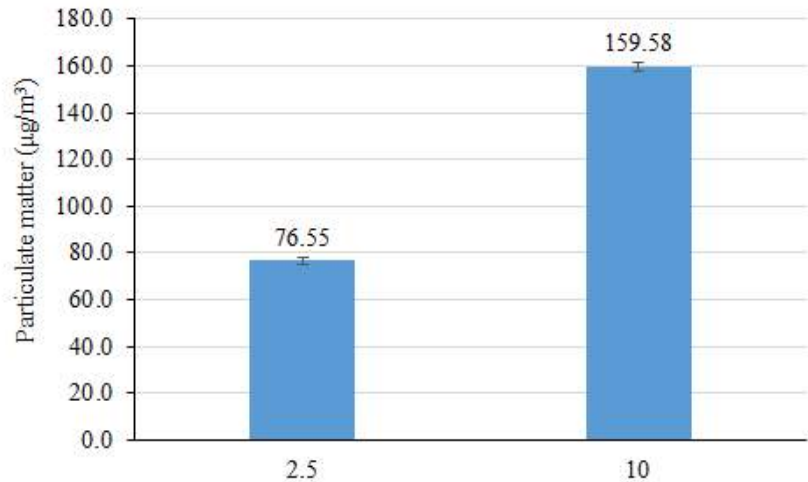


[그림 3.188] 돈사B의 경시적 황화수소 삭감율 변화

- [표 3.18]은 3차 실험 돈사B의 평균 VOA 농도를 나타낸다. 악취 주종(主種)은 VFA 27.04ppbv로서 총 98%에 해당한다. 다음은 황계열 0.57ppbv, 페놀계열, 0.09ppbv 순(順)이었다.

[표 3.18] B돈사 평균 VOA 농도

Odorant	Concentration (ppbv)
AA	0.37
PA	0.06
iBA	0.07
BA	0.02
iVA	0.08
VA	26.44
P-CRESOL	0.00
INDOLE	0.09
SKATOLE	0.00
MM	0.00
DMS	0.10
DMDS	0.46
<i>Total VFA</i>	27.04
<i>Total Phenol</i>	0.09
<i>Total Sulfuric</i>	0.57
<i>Total VOA</i>	27.70

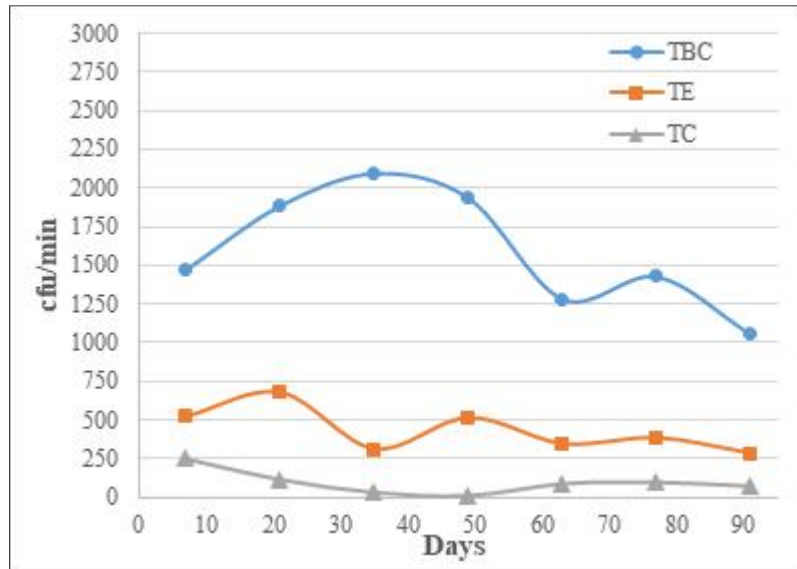


[그림 3.189] 돈사B의 PM종(種) 따른 농도

- [그림 3.189] 돈사 B의 PM 농도를 나타낸 것이다. 분석결과에 따르면 PM10, 159.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 PM2.5, 76.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 높게 나타났다.
- 부유세균(Aerial microbes) :
  - 가. 돈사B의 부유세균은 TBC, TE, TC 순(順)으로 밀도가 높았다. TBC 밀도가 TE, TC보다 월등히 높았다. 부유세균은 기본적으로 돼지분변, 사료 및 음수 토착미생물, 피부탈락편, 작업부 등에 의한다



나. [그림 3.190]에서 보는 바와 같이 실험초기부터 TBC는 증가하였으나 실험49일 잣나무 추출액 살포 후부터 총세균수는 감소하였다. TE 실험 기간 중 약간의 등락은 있지만 경시적으로 감소하는 추세이며, TC는 실험초기부터 종료일까지 돈사B 부유세균은 지속적으로 감소되었다. 이는 잣나무추출액에 항균성이 있다고 판단된다. 돈사B의 최대 TBC밀도는 2,096 cfu/min 나타났다.



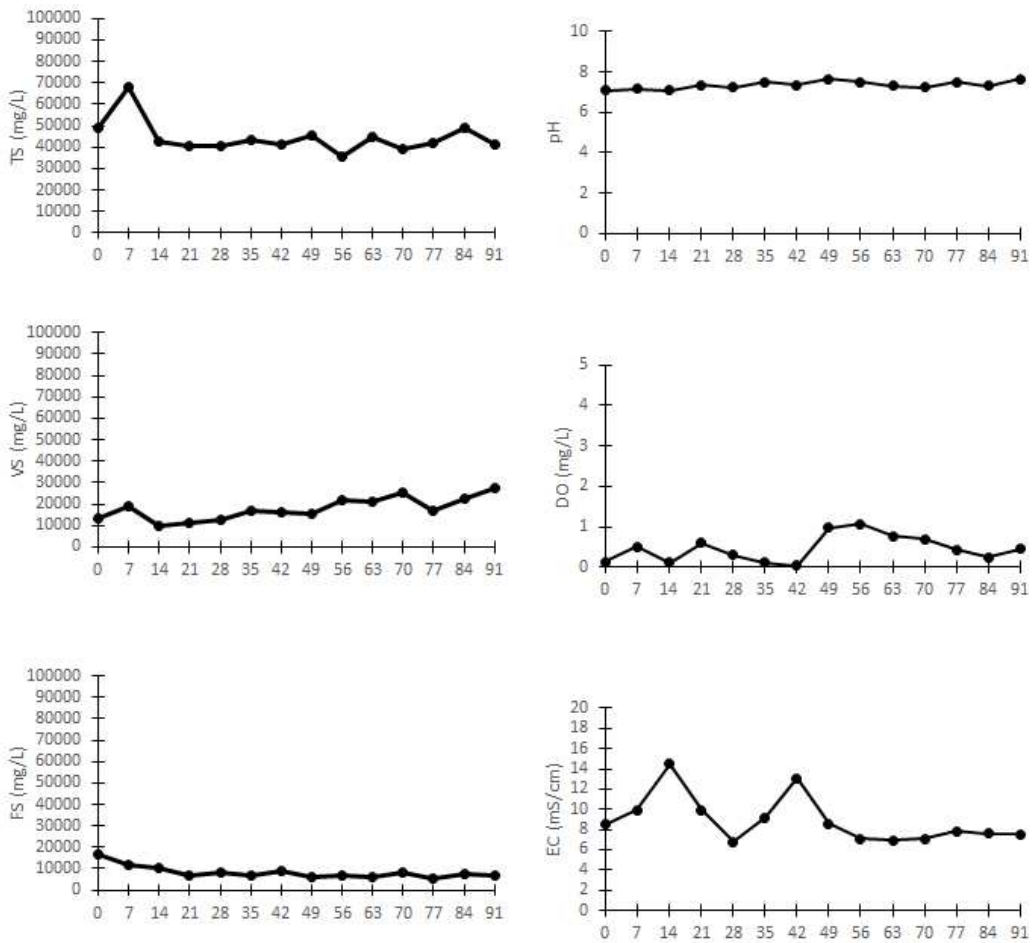
[그림 3.190] B 돈사의 경시적 부유세균 농도

다. 3차 실험은 이른 가을에서 이른 겨울까지 수행되어 여름에 수행된 2차 실험보다 부유세균 밀도가 높게 분석되었다. 이는 미세먼지 농도가 높기 때문에 부유물질이 서로 흡착된 때문으로 이해된다. 돈사B의 부유세균의 농도는 소폭이지만 등락을 거듭하였다. 돼지 성장과 피트 슬러리의 처리수 재순환시스템 가동 시 피트슬러리 교체로 인한 난류(turbulence)로 인해서 부유세균이 증가한 듯하다. 그러나 잣나무 추출액 살포이후 돈사B의 부유세균 밀도가 낮아졌다. 이는 추출액의 항균성 및 용존성 때문으로 이해된다.

○ 돈슬러리 특성(Swine Slurry Characteristic) :

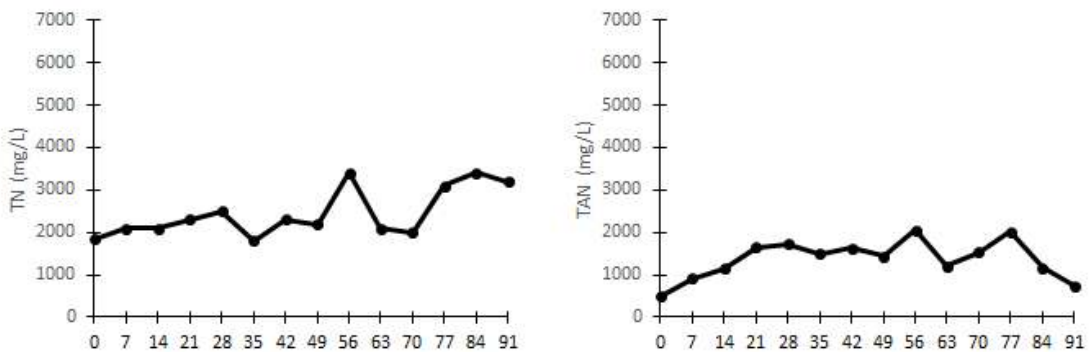
가. 3차실험에서 돈슬러리 처리수 80L/hr 돈사B에 재순환하였다. 폐수의 TS 농도는 지속적으로 감소되어 안정되었다. 돈슬러리의 암모늄이온은 쉽게 휘산 되는데 이는 pH와 밀접한 관계가 있다. 돈슬러리의 pH 7 정도에서 NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>은 암모니아 기체로 전환되므로 pH 관리는 세심한 주의를 기울여야 한다.

나. 돈슬러리의 염류농도가 상승하면서 전기전도도 (EC: electric conductivity)도 증가한다. EC는 돈슬러리에 용존염류 농도를 나타낸다. 돈슬러리의 호기성 처리시 용존염류가 증가하고, 따라서 EC도 증가한다. 그러나 실험28일부터 EC가 감소한다. 이는 처리수의 재순환 때문으로 이해된다.



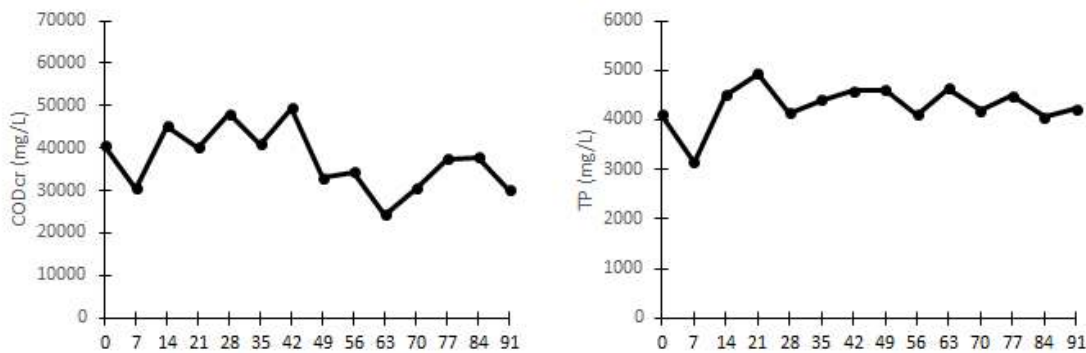
[그림 3.191] 돈사B의 경시적 이화학적 특성

다. 실험기간 중 돈슬러리의 용존산소 농도는 낮은 수준을 유지하였다. 실험기간 중 DO 상승은 피트 돈슬러리의 처리수 재순환 때문에 용존산소 농도 약간 상승하였으나 용존산소 농도를 분석하면 피트 슬러리는 2mg/l 에 지나지 않았다. 매일 지속되는 유기물 분해가 낮은 용존산소의 원인인 듯하다.



[그림 3.192] 돈사B 피트슬러리의 총질소 (TN), 총 암모니아 질소 (TAN)경시적 변화

라. 질소는 미생물의 영양소로서 암모니아는 아미노산 분해 및 뇨 가수분해에 의해서 생성되므로 질소는 잠재적 암모니아원이다. 실험21일 돈슬러리의 총질소 농도 증가하기 시작하여 ([그림 3.192] 좌), 따라서 총 암모니아 질소(TAN 우) 농도도 증가한다. 실험기간 중 총질소 및 TN, TAN 농도는 등락을 거듭하였다. 이는 처리수를 피트에 정기적 재순환함으로써 총질소와 암모니아질소의 농도가 저감된 것으로 이해된다. 돼지 성장과 더불어 다량의 질소를 함유하고 있는 돈분뇨로 입출균형을 유지하는 것이 거의 불가능하기 때문이다. 3차연구에서는 MBR공정을 거치지 않았기 때문에 실험2보다는 실험3의 TN, TAN 농도가 높게 나타났다.



[그림 3.193] 돈사B의 COD, 총인 경시적 변화

마. [그림 3.193]과 같이 돈사B의 CODcr 및 총인은 등락을 거듭한다. 실험2의 CODcr 45,211 mg/l 이었으나 실험3에서는 37,314 mg/l 로 슬러리의 유기물 농도가 약간 감소하였다. 이는 슬러리의 고형물 감소와 관련 있는 듯하다. 총인은 실험2 3,472 mg/l에서 실험3에서는 4,289mg/l 실험반복을 거치면서 인 집적이 일어난 듯하다.

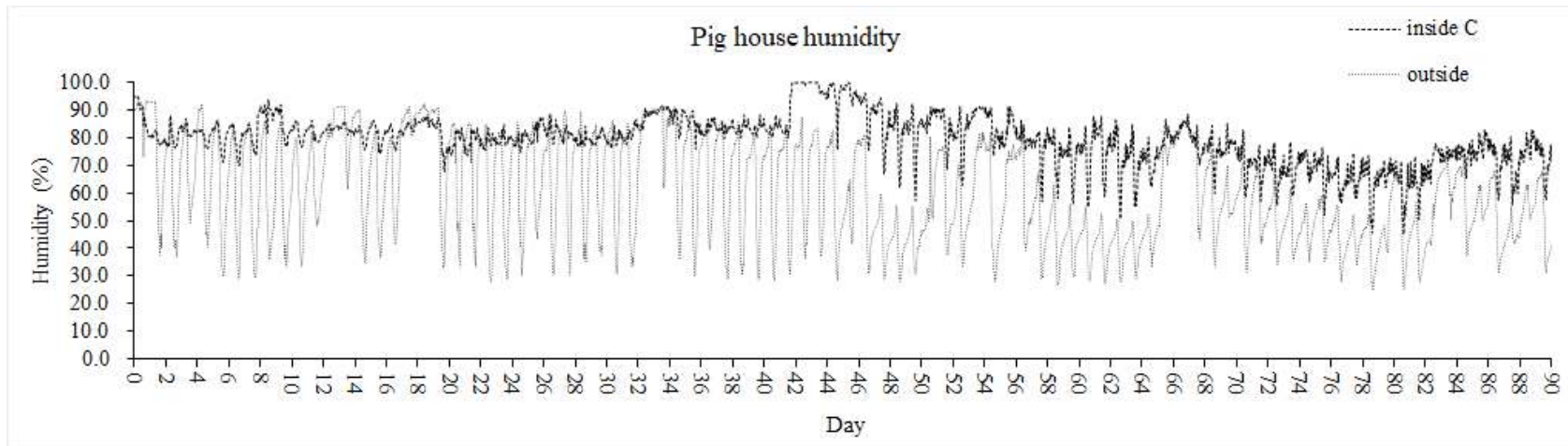
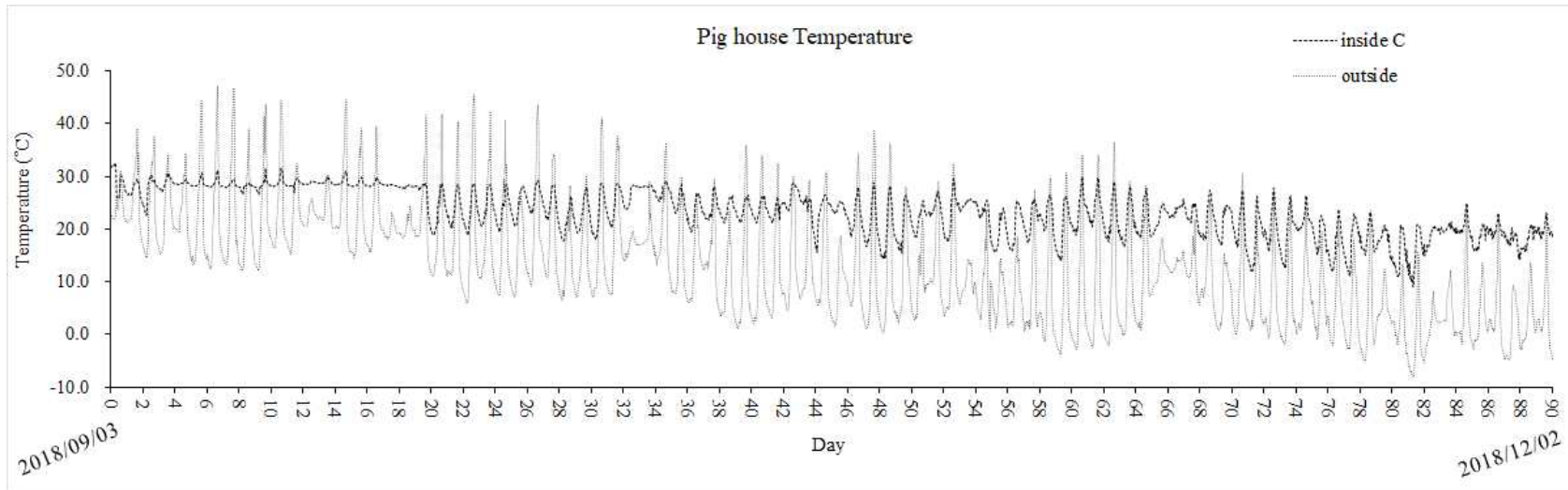
### (3) ICT적용 C형돈사-BF 성적평가

○ [그림 3.194]는 톱밥갈개 모형돈사 C 실상도이다. 입식 시 돼지 초기 평균 체중은 42.2kg(9 주령)로서 각 사육 돼지는 총10마리로서 사육밀도는 1.33m<sup>2</sup>/두로 계산되었다.



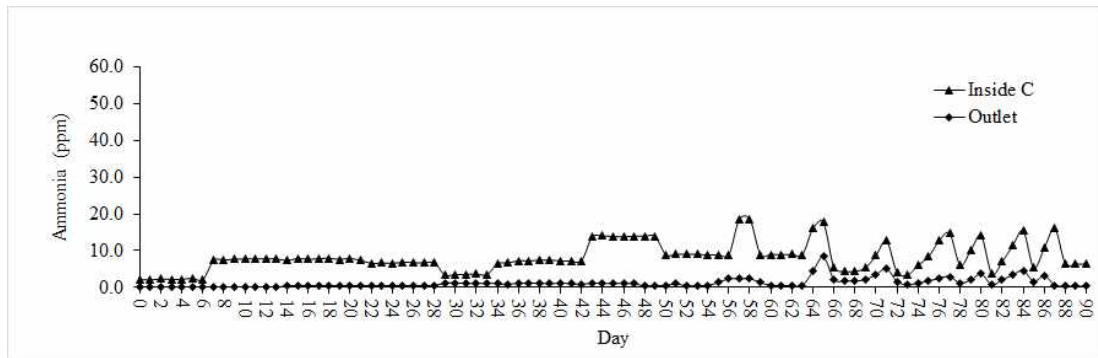
[그림 3.194] 모형돈사 C의 실상도

- [그림 3.195]는 돈사 C의 온도(上), 상대 습도(下)의 변화를 나타낸다. 실험은 이른 가을부터 이른 겨울까지 진행되었으며, 일반적으로 외기 조건이 변동했음에도 돈사내의 온도는 18~30℃의 수준으로 유지하였다.
- ICT 시스템에서 모형돈사 온도는 21±2℃로 설정되었다. ICT시스템은 냉각시스템 및 환기시스템과 관련된 모든 장치를 연동제어하여 설정온도를 유지하였다. 허용 온도가 ±2℃인 경우 내부 온도가 2℃ 이상 또는 이하로 상승하거나 하강할 때 상응하는 팬rpm을 작동하도록 한다. 팬가동 즉 환기시스템으로 불가능하면 보조열원으로 냉각(冷却)하거나 가온(加溫)해야 한다.
- 데이터 분석 결과를 통해 적용 ICT 시스템이 정밀 작동하여 설정한 환경조건을 유지함을 알 수 있었다. 실험20일까지는 실내온도가 설정온도에 안정적으로 일정하게 유지하였다. 이후에는 약간 등락하면서 주야간의 차이를 나타내었다. 이는 깔개돈사의 톱밥층의 호기 발열(發熱)현상에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 외부온도의 등락에도 불구하고 내부온도는 설정온도 편차 범위 내에서 유지할 수 있었다.



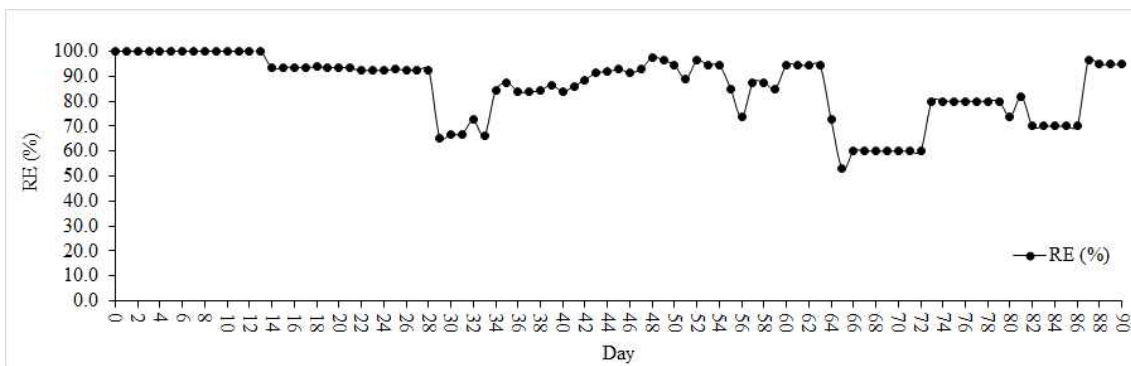
[그림 3.195] 모형갈개돈사 C의 경시적 온도(上), 습도(下) 경시적 변화

- 여름철 실험에서 모형돈사 C 습도 조건은 [그림 3.195](下)와 같다. 분석결과, 모형돈사 C 내부의 습도는 45~99% 범위로서 돼지에게 쾌적한 습도인 약 70% 이하 요구범위보다 높았다. 이는 여름철의 높은 습도 조건 때문인 것으로 판단되며 증발식 냉각시스템은 돈사 내부로 유입 수분량을 증가시켜 돈사내의 습도를 더욱 증가시킨 때문으로 이해된다. 또한 사육실의 슬러리로부터 증발 수분과 돼지 활동에 의해 수분 증가도 습도를 높이는 원인으로 판단된다.
- 암모니아성 질소는 많은 미생물에 의해 질소 화합물의 분해에 의해 생성된다. (Mackie et al., 1998). 아미노산과 같은 질소 화합물의 분해는 암모니아를 생성하며, urease 활성을 갖는 미생물에 의해 분해되어 암모니아가 생성된다 (Mackie et al., 1998).



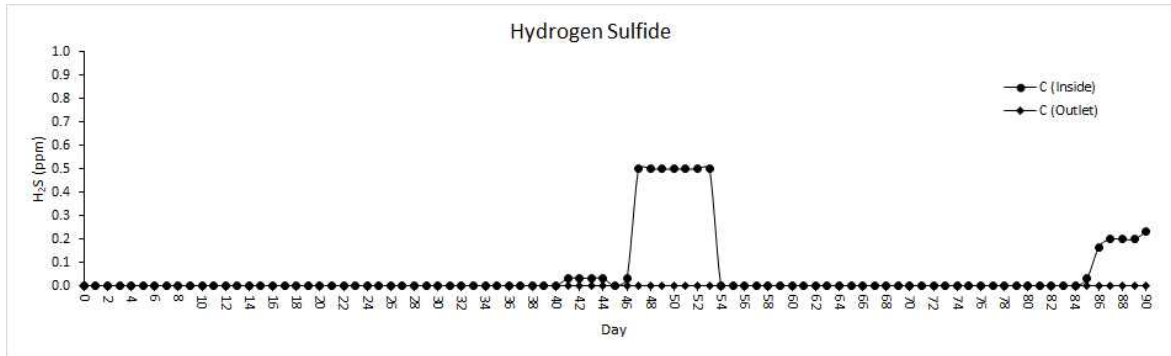
[그림 3.196] 모형갈개돈사 C의 경시적 암모니아 경시적 변화

- [그림 3.196]에서와 같이, 돼지 슬러리의 암모니아 농도는 경시적(經時的)으로 증가하였다. 이는 유기물이 한정공간의 미생물의 먹이의 한계를 초과하여 집적된 때문이다. 돼지 분변의 암모니아질소(TAN)가 암모니아가스 휘산을 가속시킨다. 실험44~50일까지는 0.5~10ppm을 등락하면서 제어할 수 있는 범주에 있으나, 실험42일 이후에는 8~10ppm 관찰되었다. 특히 실험44일~실험50일에는 18ppm에 이른다. 이 때 약 1m<sup>3</sup> 톱밥갈개를 보충하여 갈개층의 함수율을 저감시켰다. 이후 약 일주일 정도 감소되었으나 다시 증가하기 시작하였다. 실험66일 분말 미생물제 1kg/2m<sup>2</sup> 살포하였으나 이후 등락을 반복하였다.



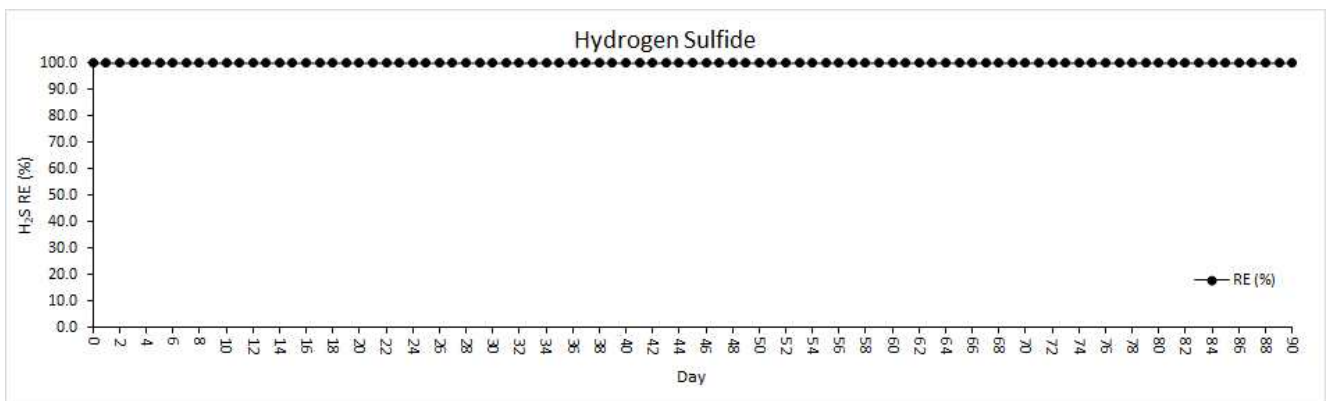
[그림 3.197] 모형갈개돈사 C의 BF 경시적 암모니아 농도 경시적 제거효율

- 그럼에도 BF를 거쳐 외부로 배출되는 공기의 암모니아농도는 실험63일까지는 0.5ppm에 미치지 못하나(제거효율 100%), 이후에는 1~4ppm으로 거의 인지되지 않는 수준이나 BF 효율이 감소됨을 알 수 있다. 제거효율은 52~100%범주로 분석되었다. [그림 3.197]은 BF 암모니아 저감 효율을 경시적으로 나타낸 것이다.



[그림 3.197] 모형갈개돈사 C의 경시적 실내·외 황화수소 농도변화

- 모형돈사C 바이오필터 전후 경시적 황화수소 농도는 [그림 3.197]과 같다. 사육실 내부의 황화수소 농도는 상대적으로 일정하였다. 실험46일~53일 0.5ppm 분석되었다. 실험종료 5일간은 황화수소 농도가 0.3ppm으로 관찰되었다. 이는 저(低)환기율 때문에 희석이 제대로 되지 않은 때문으로 이해된다. 그러나 바이오필터 시스템 적용 이후 황화수소 농도는 0~0.1ppm 범위로 낮아졌다.
- 모형돈사 C의 바이오필터시스템 외부로 방출 H<sub>2</sub>S 제거효율은 거의 100%에 이른다.([그림 3.198]) 돈사 내의 H<sub>2</sub>S 농도가 높은 것은 갈개돈사 분뇨 축적 때문으로 이해된다. 돼지 배설물 축적은 갈개의 공극(孔隙)을 막고 산소공급을 억제할 수 있기 때문에 혐기조건을 유발할 수 있다. 또한, 톱밥이 바닥 갈개재에 쌓인 폐기물과 함께 물을 많이 머금고 있기 때문에 혐기성 조건이 활성화되어 H<sub>2</sub>S 더 많아 생성되었다볼 수 있다.

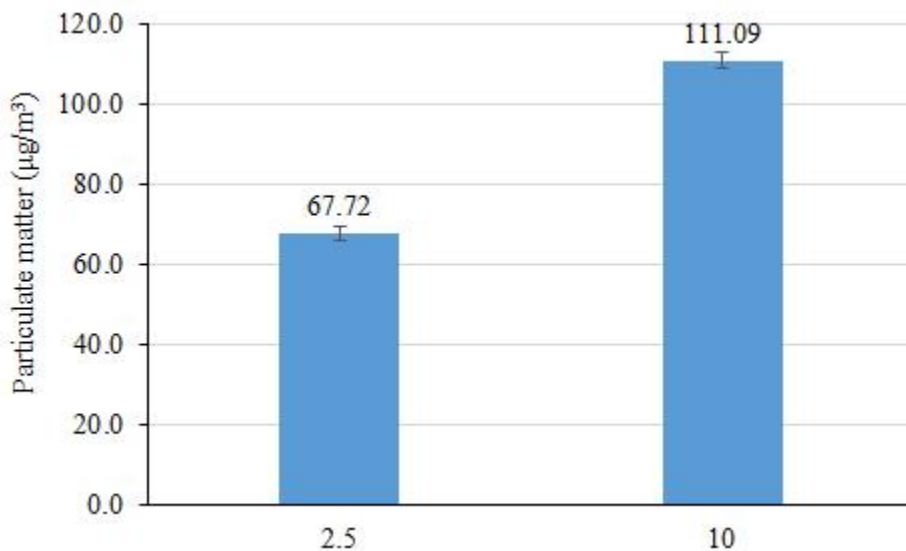


[그림 3.198] 모형돈사C의 경시적 황화수소 제거효율

[표 3.19] 모형돈사C의 VOA농도

Volatile organic odor	Concentration (ppbv)
AA	1.07
PA	0.72
iBA	0.01
BA	0.00
iVA	0.08
VA	0.89
p-CRESOL	0.00
INDOLE	0.19
SKATOLE	0.00
MM	0.00
DMS	0.43
DMDS	0.09
Total VFA	2.78
Total Phenol	0.19
Total Sulfuric	0.52
Total VOC	3.49

- 모형돈사C 휘발성 유기산(VFA) 약취 농도는 표 3.19과 같다. 모형돈사C의 주된 약취는 약 2.78ppbv인 휘발성 지방산 약취 화합물이며, 다음 0.19ppbv인 황계열 화합물, 0.52 ppbv 페놀약취 순이었다. 바이오필터 시스템 이후, 총휘발성 유기산 약취화합물은 초기 농도인 3.49ppbv에서 0.19ppbv ( $p < 0.05$ )로 약 9.8 % 감소되어 통계적으로 유의하였다.



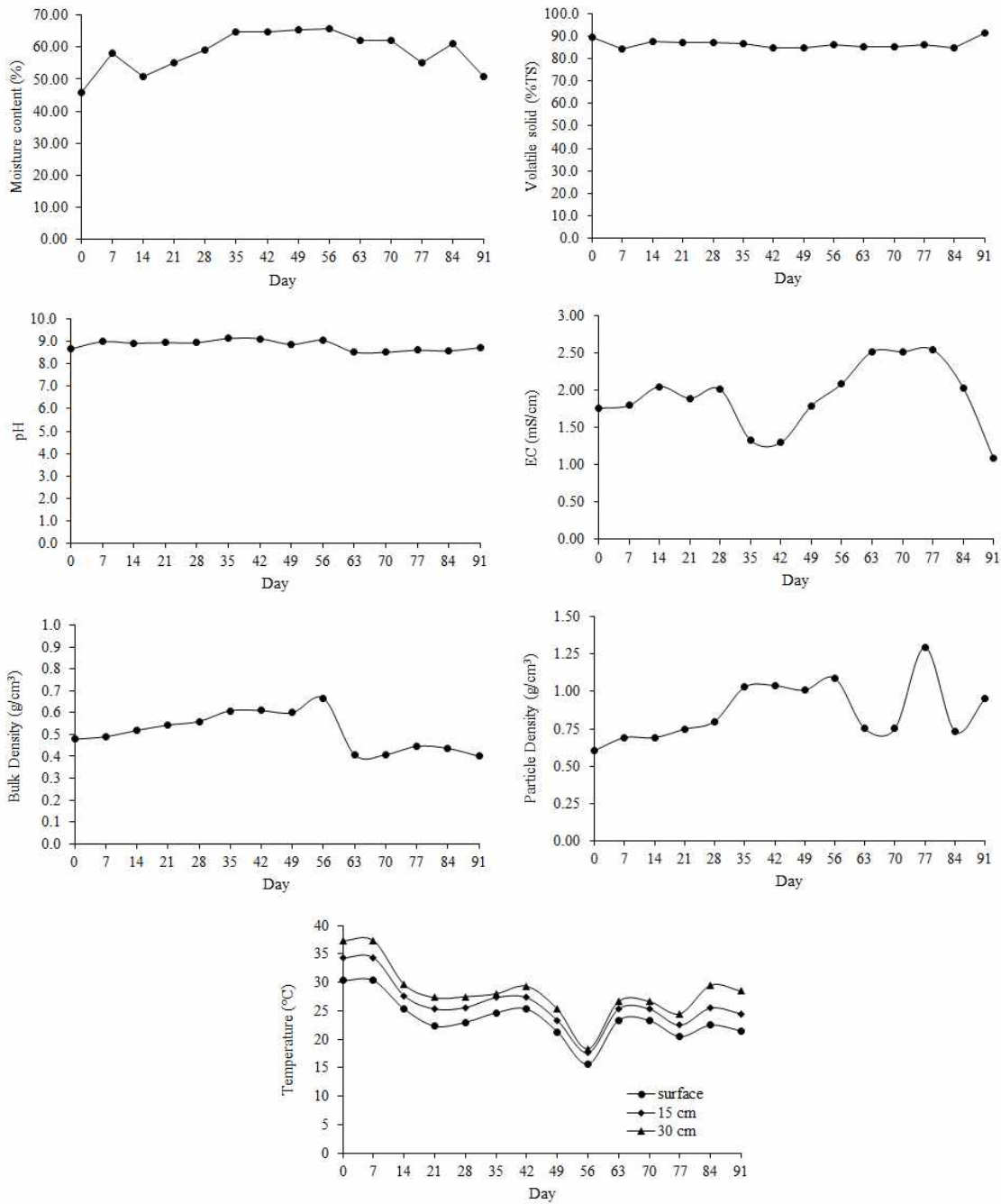
[그림 3.199] 모형돈사C의 PM(미세먼지 농도)

- 모형돈사C 돈사내의 미립자 농도는 [그림 3.199]와 같다. PM 2.5 농도는  $67.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10 은  $119.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 PM10의 밀도가 높게 나타났다. 일반적으로 미세먼지농도가 2차 실험의 40%에 지나지 않는데 이는 사육실 돼지의 활동성과 관계가 있는 듯하다.



○ 톱밥 깔개 특성 :

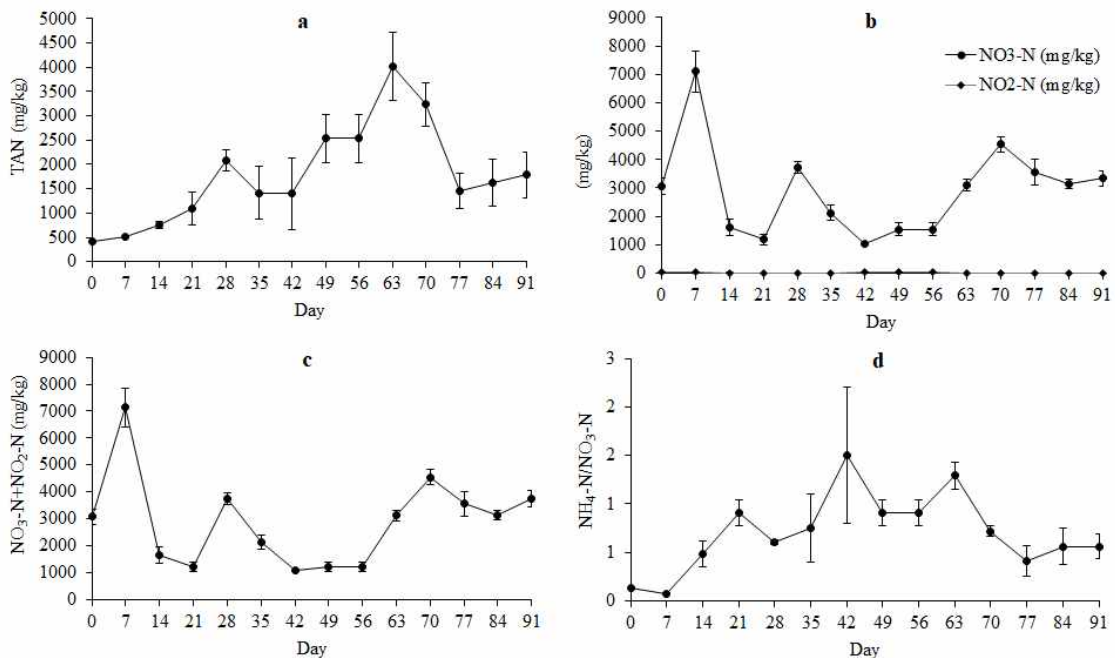
가. 톱밥과 혼합되는 돼지분뇨의 축적으로 인해 C/N비율이 퇴비 생산공정에 이상적인 조건으로 저감되며 organotroph 미생물 먹이를 제공한다. 허실음수가 톱밥바닥에 떨어져 깔개 수분을 증가시킨다. 톱밥층 온도는 유기물의 생분해시 발열 (exothermic heat)로 증가하였다.



[그림 3.200] 톱밥깔개돈사 C의 이화학적 특성

나. 깔개의 휘발성 고형물(VS)은 시간이 지나면서 점차 감소하였다. 이는 깔개에 함유된 혼합물(유기물) 분해반응 때문이다. 또한, 돼지분뇨 미량원소의 축적이 깔개재의 휘발성고형물(VS) 비율을 감소시키는 데 기여했을 가능성이 있다

다. 톱밥깔개 혼합물의 총암모니아 질소(TAN), 아질산염(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), 질산염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 및 암모늄 질산염(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 비율은 [그림 3.201]과 같다. TAN농도는 실험63일~실험70일, 사육84일에 최대 수준으로 증가했다. 이는 깔개혼합물에 흡착된 암모니아 축적이 해당일에 일어남을 의미한다. TAN의 축적은 공기 중 암모니아나 깔개혼합물에서 진행되는 생분해 과정의 영향에 기인할 수 있다. 분석결과, TAN 변화추세는 질산, 아질산염 농도의 반대 경향을 보였다. TAN이 증가하면 아질산, 질산염 농도는 감소하였다. 이 상태는 깔개재 혼합물의 질산화 과정과 관련이 있을 가능성이 높다. 암모니아는 질산염으로 전환되므로 TAN 농도가 감소하는 동안 질산염 농도가 증가한다.

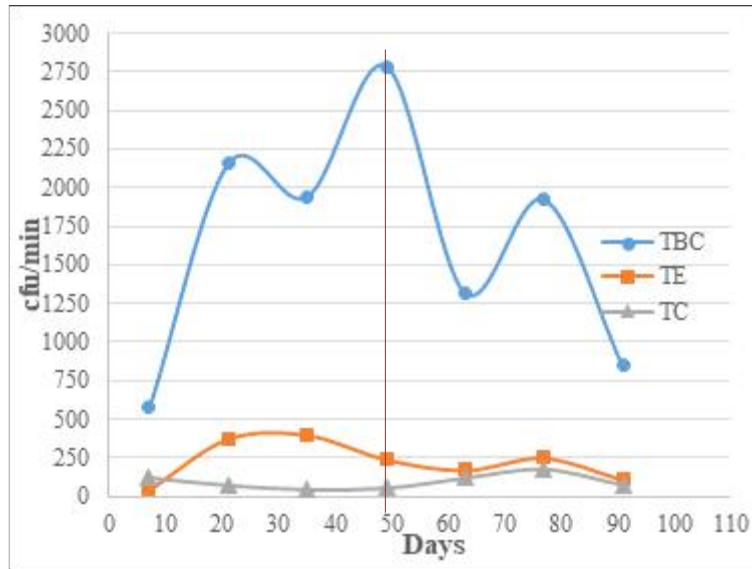


[그림 3.201] 모형돈사C의 깔개톱밥의 경시적 질소화합물 농도 변화

○ 부유세균 (Aerial microbes) :

가. 총세균수 (TBC), 총대장균 (TE) 및 총분변 대장균 (TC)과 같은 부유 세균을 분석하여 공기질 및 환기 효율 검증 실험을 수행하였다. 공기 중 세균은 표준 페트리 접시 (90~15 mm, SPL Life Sciences, Pochun-si)를 사용하여 plate settling 방법을 사용하여 측정하였으며, TBC의 열거를 위해 Tryptic soy agar (Merck)를 사용하였다. Chromocult Coliformen agar (Total Merck)를 대장균 (Total E. coli, TE)에 사용하였고 MFC 한천을 대변 대장균 (TC) 계수에 사용하였다. 샘플링 후 실험실에 옮겨 TBC를 위해서는 37℃에

서 24 시간 동안, TC와 TE를 위해서는 48시간 동안 배양하였다 colony를 setting 분당 colony형성 단위 (cfu / min)로 셴하였다.



[그림 3.202] 모형돈사C의 부유세균중(種) 밀도 경시적 변화

- 나. [그림 3.202]는 모형돈사 C 공기 중 세균 중(種) 경시적 밀도변화를 나타낸다. 모형돈사 A 및 모형돈사와 같이 총세균수 (TBC), 대장균수 (TE), 총 대장균 군 (TC) 순(順)으로 많았다. TBC는 TC, TE, 기타 공기 중 미생물을 포함하며, TBC 밀도는 TE 및 TC보다 현저히 높았다. 돈사에 존재하는 공기 중 미생물은 돼지 분변 물질, 사료 및 식수의 자생 미생물, 또는 돼지 피부편(片), 바닥재 또는 작업인에게 부착된 미생물에서 유래할 수 있다.
- 다. [그림 3.202]는 실험30일까지 공기 중의 미생물 밀도는 증가한다. 이는 돼지 활동 증가와 생장에 따른 배설물 증가와 연관되는 것 같다. 실험 개시일에는 거의 부유세균은 존재하지 않았다. 실험49일 부유세균이 현저히 증가하여 분말 미생물제를 1kg/2m<sup>3</sup> dose로 살포하였다. 이후 부유세균이 현저히 감소하였다. 이는 부유세균과 약취화합물의 흡착에 의한 듯하다. 또한 왕겨를 혼합한 톱밥 1m<sup>3</sup> 보충하여 상대적으로 미세세균의 공기 중 확산이 감소된 것으로 판단된다.
- 라. 실험14일 이후에는 모형돈사 C 환기시스템 보완으로 환기율이 높아져 대기 중발산세균수가 낮아졌다. 그러나 사육21일 이후 공기 중 미생물 밀도가 상당히 증가하였다. 그 이유는 톱밥 깔개 때문으로 이해된다. 매일 돈분뇨는 바닥 깔개재에 축적으로 유기물 양이 증가하고, 따라서 연속 혼합으로 인해 공기 중 발산되는 미생물 밀도도 증가하였다.

마. 실험65일에 농축미생물 효과를 실험하기 위하여 농축시킨 미생물제제(製劑)를 살포하였다. 이 부가적 실험은 약취저감과 동시에 부유세균 저감을 기대하였으나 부유세균 공히 밀도가 오히려 증가하였다. 이는 돼지생장에 따라 대량의 분변량이 미생물제제 투여효과를 상쇄시키며, 제제 혼합과정에서 부유세균을 휘산시킨 때문으로 이해된다.

#### (4) 최소환기율(Min. Vent Rate) 결정 알고리즘(Algorithm)

1. 겨울철 최소환기율을 결정하기 위한 열균형식은 식(1)과 같다.

$$\dot{V} = \frac{q_s + q_m + q_{so} - (\Sigma UA + FP)(t_i - t_o)}{1006\rho(t_i - t_o)}$$

2. 기계적 열원, 겨울철 복사열은 상대적으로 크기가 적다고 가정하면, 식(1)은 식(2)와 같이 단순화할 수 있다.

$$\dot{V} = \frac{q_s - (\Sigma UA + FP)(t_i - t_o)}{1006\rho(t_i - t_o)}$$

3. 모형돈사는 스티로폼으로 피복되어 있으며, 스티로폼의 열전도도는 0.033 W/mk이다. 모형돈사 A, C는 스티로폼의 두께는 50 mm+ 10mm ployuretane foam (k=0.02W/mK), 모형돈사 B는 스티로폼 두께 70 mm으로 피복되어 있다. 모형돈사는 4m,Lx3m,Wx1.85m,H. 모형돈사 A, B는 HDPE k= 0.42 W/mk, 톱밥 k= 0.08 W/mk으로 식(2)에 대입시켜 계산한다. .

4. 질량대표면수로 수분을 대상으로 수분을 제거하기 위한 질량보전식은 식(3) 과 같다.

$$\dot{V}_m = \frac{m_p}{\rho(W_i - W_o)}$$

5. 실내설정온도( $t_i$ )=20°C. 외기온( $t_o$ ) 0~15°일 때 현열( $q_s$ )과 수분발산율 ( $m_p$ )은 표4.4와 같다.

[표 3.20] 현열 및 수분생산 발생량 @20°C

체중 (kg)	현열 (W/kg)	두당 현열(W/두)	잠열(mg/kg.s)	두당 잠열 (mg/두.s)
25	2.71	67.73	1.03	25.75
40	1.6	64.00	0.61	24.4
60	1.3	78.00	0.47	28.2
80	1.2	96.00	0.39	31.2
100	1.1	110.00	0.33	33

## 6. A 모형돈사

### 가. 실내온도제어를 위한 열균형식

(1) 외기온 15°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{m K} 14 m\right)\right) \times (20 - 15^\circ C)}{1006 \frac{J}{kg K} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 15^\circ C)} = 0.16 \frac{m^3}{s}$$

(2) 외기온 10°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{m K} 14 m\right)\right) \times (20 - 10^\circ C)}{1006 \frac{J}{kg K} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 10^\circ C)} = 0.06 \frac{m^3}{s}$$

(3) 외기온 5°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{m K} 14 m\right)\right) \times (20 - 5^\circ C)}{1006 \frac{J}{kg K} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 5^\circ C)} = 0.03 \frac{m^3}{s}$$

(4) 외기온 0°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{m K} 14 m\right)\right) \times (20 - 0^\circ C)}{1006 \frac{J}{kg K} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 0^\circ C)} = 0.02 \frac{m^3}{s}$$

나. A 수분제어를 위한 환기율 :

(1) 외기온 15°C:

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 10}{1.03(0.0147 - 0.0106)} = 0.07 \frac{m^3}{s}$$

(2) 외기온 10°C:

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 10}{1.03(0.0147 - 0.0076)} = 0.04 \frac{m^3}{s}$$

(3) 외기온 5°C:

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 10}{1.03(0.0147 - 0.0054)} = 0.03 \frac{m^3}{s}$$

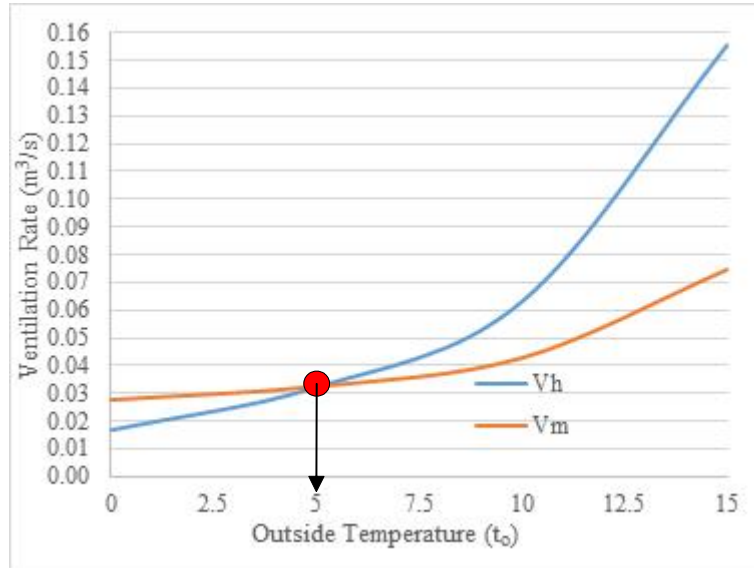
(4) 외기온 0°C:

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 10}{1.03(0.0147 - 0.0038)} = 0.027 \frac{m^3}{s}$$

7. 돈사A의 습도 및 온도 균형식에 대한 최소환기율 결정은 [표 3.21] [그림 3.203]에 주어져 있다.

[표 3.21] 돈사A의 습도 및 온도 균형식에 대한 최소환기율 결정

외기온, T <sub>o</sub>	습도비 (kg/kg)	환기율, (m <sup>3</sup> /s)	열균형 환기율 (m <sup>3</sup> /s)
15	0.0106	0.0742	0.1555
10	0.0076	0.0427	0.0628
5	0.0054	0.0325	0.0320
0	0.0038	0.0277	0.0165



[그림 3.203] 돈사 A 최소환기율 외기온 @2.5°C,  $V' = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$  (=1.8CMM)

## 8. 모형돈사 B

가. 실내온도제어를 위한 열균형식

(1) 외기온 @ 15°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.47 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 15^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 15^\circ C)} = 0.16 \frac{m^3}{s}$$

(2) 외기온 @ 10°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.47 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 10^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 10^\circ C)} = 0.07 \frac{m^3}{s}$$

(3) 외기온 @ 5°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.47 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 5^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 5^\circ C)} = 0.04 \frac{m^3}{s}$$

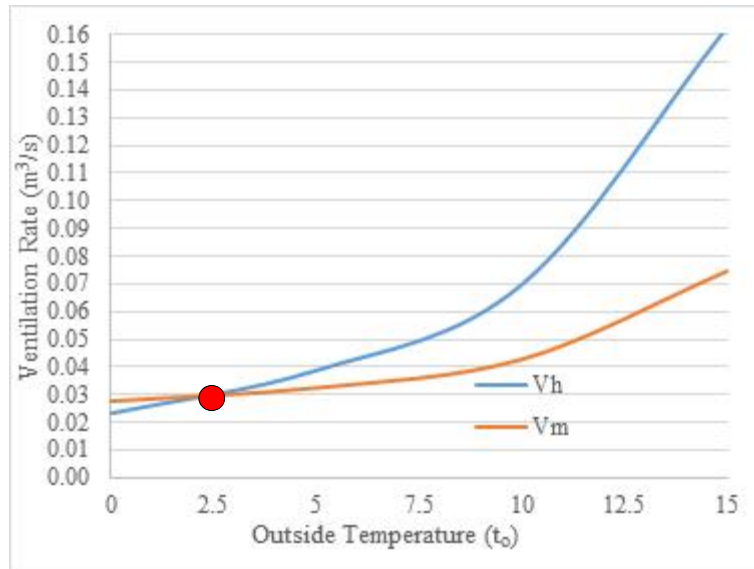
(4) 외기온 @ 0°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 10 ea\right) - \left(\left(0.47 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.42 \frac{W}{m K} 14 m\right)\right) \times (20 - 0^\circ C)}{1006 \frac{J}{kg K} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 0^\circ C)} = 0.02 \frac{m^3}{s}$$

9. 모형돈사B는 기본적으로 사양과 피트돈사 같기 때문에 모형돈사A와 같다. 모형돈사B의 최소환기율 결정은 [표 3.22] [그림 3.204]와 같다.

[표 3.22] 돈사B의 외기온에 따른 최소환기율

외기온, T <sub>o</sub>	습도비(kg/kg)	열균형 환기율 (m <sup>3</sup> /s)	수분균형 환기율 (m <sup>3</sup> /s)
15	0.0106	0.0742	0.1624
10	0.0076	0.0427	0.0697
5	0.0054	0.0325	0.0388
0	0.0038	0.0277	0.0234



[그림 3.204] 돈사B의 최소환기율은 외기온 @2.5°C V' =0.029 m<sup>3</sup>/s (=1.8CMM)

10. 모형돈사C

가. 실내온도제어를 위한 열균형식

(1) 외기온@ 15°C:



$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 9 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.08 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 15^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 15^\circ C)} = 0.14 \frac{m^3}{s}$$

(2) 외기온 @ 10°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 9 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.08 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 10^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 10^\circ C)} = 0.06 \frac{m^3}{s}$$

(3) 외기온 @ 5°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 9 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.08 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 5^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 5^\circ C)} = 0.03 \frac{m^3}{s}$$

(4) 외기온 @ 0°C:

$$\dot{V} = \frac{\left(96 \frac{W}{ea} \times 9 ea\right) - \left(\left(0.66 \frac{W}{m^2 K} 37.9 m^2\right) + \left(0.08 \frac{W}{mK} 14 m\right)\right) \times (20 - 0^\circ C)}{1006 \frac{J}{kgK} \times 1.03 \frac{kg}{m^3} \times (20 - 0^\circ C)} = 0.02 \frac{m^3}{s}$$

나. 수분균형식.

(1) 외기온 @ 15°C:

$$\dot{V}_m = \frac{31.2 \times 9}{1.03(0.0147 - 0.0106)} = 0.067 \frac{m^3}{s}$$

(2) 외기온 @ 10°C:

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 9}{1.03(0.0147 - 0.0076)} = 0.039 \frac{m^3}{s}$$

(3) 외기온 @ 5°C:

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 10}{1.03(0.0147 - 0.0054)} = 0.029 \frac{m^3}{s}$$

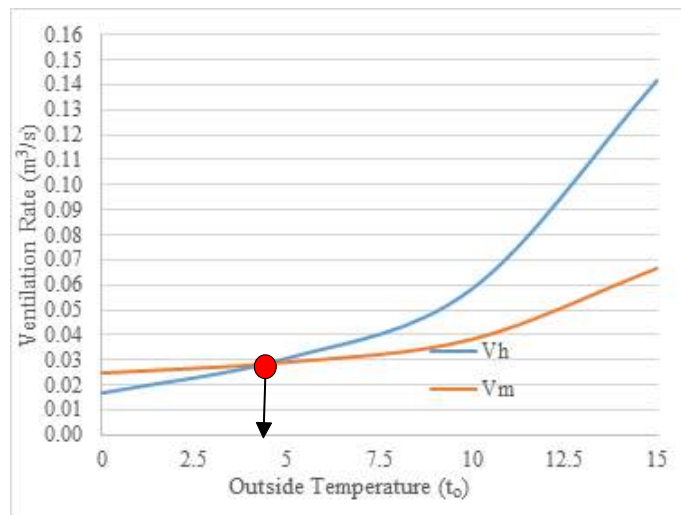
(4) 외기온 @ 0°C

$$V_m \dot{=} \frac{31.2 \times 10}{1.03(0.0147 - 0.0038)} = 0.025 \frac{m^3}{s}$$

11. 모형돈사C의 최소환기율 결정은 [표 3.23] [그림 3.205]와 같다.

[표 3.23] 돈사 C의 최소환기율 계산결과

T <sub>o</sub>	습도비 (kg/kg)	열균형 환기율 (m <sup>3</sup> /s)	수분균형 환기율 (m <sup>3</sup> /s)
15	0.0106	0.0668	0.1415
10	0.0076	0.0385	0.0582
5	0.0054	0.0293	0.0304
0	0.0038	0.0249	0.0165



[그림 3.205] 돈사 C의 환소환기율은 외기온 @4°C V' = 0.029 m<sup>3</sup>/s (=1.74CMM)

12. 모형돈사 최소환기율 상사율(相似率\_Similitude분석)

[표 3.24] 최소배기팬 용량 적용시 돈사 A 지점별 유속분포

지점	Front 前			Middle 中			Rear 後		
	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side
upper 上	0.05	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
mid 中	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01
lower 下	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00

○ 돈사A의 전상면(前上面) Reynolds number (Re) 수:

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.05+0.01+0.05}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 3,347$$

○ 돈사A의 전중면(前中面) Reynolds number (Re) 수 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02+0.01+0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,195 < 2300$$

○ 돈사A의 전하면(前下面) Reynolds number (Re) 수:

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01+0.01+0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 717 < 2300$$

○ 계산결과 전상면은 전이유동(난류)이나 전중, 전하면은 층류유동으로 나타난다. 이는 입기유동의 momentum이 약해서 일어나는 현상으로 이해된다.

○ 중상면(中上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01+0.01+0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 512 < 2300$$

○ 중중면(中中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02+0.01+0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 845 < 2300$$

○ 중하면(中下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01+0.01+0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 717 < 2300$$

○ 계산결과, 중면은 상중하 위치에 관계없이 층류유동(laminar flow)으로 나타난다. 이는 입기유동의 momentum이 약해서 일어나는 현상으로 이해되며, 실내공기질이 악화되지 않는 한

유동형태에 크게 상관하지 않아도 된다.

○ 모형돈사B의 중상면(中上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.01 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 837 < 2300$$

○ 중상면(中中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.02 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,076 < 2300$$

○ 중하면(中下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.01 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 609 < 2300$$

○ 계산결과, 중면(中面)은 상중하 위치에 관계없이 층류유동(laminar flow)으로 나타난다. 이는 입기유동의 momentum이 약해서 일어나는 현상으로 이해되며, 이는 전면(前面), 후면(後面)과 마찬가지로다. 실내공기질이 악화되지 않는 한 유동형태에 크게 상관하지 않아도 된다.

[표 3.25] 모형돈사 B의 배기팬 최소용량 에서의 지점별 유속분포

지점	Front 前			Middle 中			Rear 後		
	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side
upper 上	0.01	0.12	0.03	0.01	0.13	0.01	0.02	0.02	0.01
mid 中	0.01	0.17	0.01	0.03	0.11	0.01	0.01	0.04	0.01
lower 下	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01	0.01	0.05	0.01

○ 분석결과, 모형돈사B의 전면(前面)은 상, 중 지점은 난류유동을 나타내나 전하지점은 층류유동(laminar flow)으로 나타난다. 이는 입기유동의 천공 jet momentum이 상대적으로 크나 하부지점의 jet의 에너지가 소산(消散) 되어 일어나는 현상으로 이해된다. 오히려 겨울에는 draft를 유발하지 않기 때문에 바람직하다. 물론 여름에는 대류 열소산(heat dissipation)을 유도할 수 없기 때문에 배기팬의 용량을 최대로 해야 한다.

○ 전상면(前上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.12 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 4,423 > 2,300$$

○ 전중면(前中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.17 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 5,379 > 2,300$$

○ 전하면(前下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.01 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 837 < 2,300$$

○ 계산결과, 모형돈사B의 중면(中面)은 상중하 공히 난류유동으로 나타난다. 이는 입기유동의 momentum이 상대적으 전면보다 큰 때문이다. 이는 입기덕트의 설계를 보다 정밀화할 필요가 있다.

○ 중상면(中上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.13 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 4,354 > 2,300$$

○ 중중면(中上面) Re수는

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.11 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 4,329 > 2,300$$

○ 중하면(中上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.12 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 4,184 > 2,300$$

○ 분석결과 모형돈사B의 전면, 중면은 난류유동이 존재하나 후면은 층류유동이 나타거나 전이유동이 나타난다. 그럼에도 모형돈사B의 하향류(下向流)로서 수평류(水平流)인 모형돈사A보다 공기유속 존재한다.

○ 후상면(後上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.02 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,315 < 2,300$$

○ 후중면(後中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.04 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,913 < 2,300$$

○ 후하면(後下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.05 + 0.01}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 2,015 < 2,300$$

[표 3.26] 모형돈사C의 배기팬 최소용량에서의 지점별 유속분포

	Front			Middle				Rear	
	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side	right side	centre side	left side
upper	0.02	0.08	0.02	0.01	0.01	0.02	0.05	0.05	0.05
mid	0.06	0.13	0.06	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03
lower	0.05	0.05	0.08	0.01	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02

○ 분석결과, 모형돈사C의 전면(前面)은 상, 중, 하 공히 난류유동을 나타내었다. 이는 입기유동의 천공 jet momentum이 상대적으로 큰 때문으로 이해된다.

○ 전상면(前上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.02 + 0.08 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 3,227$$

○ 전중면(前中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.06 + 0.13 + 0.06}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 6,933$$

○ 전하면(前下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.05 + 0.05 + 0.08}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 5,020$$

○ 중상면(中上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.01 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,409$$

○ 중중면(中中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.03 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 1,716$$

○ 중하면(中下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.01 + 0.04 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 2,032$$

○ 후상면(後上面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.05 + 0.05 + 0.05}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 3,945$$

○ 후중면(後中面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.04 + 0.02 + 0.03}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 2,510$$

○ 후하면(後下面) Re수는 :

$$Re = \frac{\left(1.184 \frac{kg}{m^3}\right) \left(\left(\frac{0.03 + 0.04 + 0.02}{3}\right) m/s\right) \frac{4}{3} m}{1.849 \times 10^{-5} kg/ms} = 2,567$$

○ 분석결과, 전면은 난류유동분포를 보이는 반면 중, 후면은 전이유동분포를 보인다. 이는 입기덕트 설계의 문제점이 있다. 즉, 전면 입기덕트의 정압차(static pressure difference)를 낮추어 유속이 균배되도록 설계해야 한다. 그럼에도 불구하고 모형돈사 A, B보다 Re 수가 균배되어 C의 입기덕트를 개선하여 표준화할 필요가 있다.

[표 3.27] 돈사 종(種)에 따른 최소 팬용량시 돈사종에 따른 지점별 Re수 분포

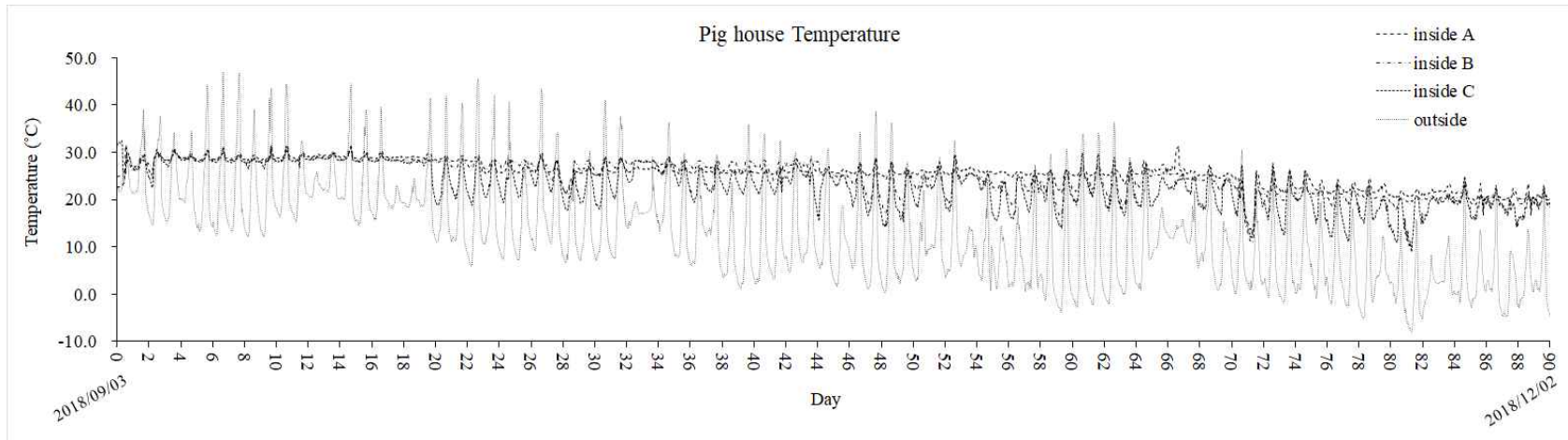
종(種)	A			B			C		
	Front	Mid	Rear	Front	Mid	Rear	Front	Mid	Rear
upper	3347	512	837	4423	4354	1315	3227	1409	3945
mid	1195	845	1076	5379	4329	1913	6933	1716	2510
lower	717	717	609	837	4184	2015	5020	2032	2567

- [표 3.27]은 최소배기팬용량에서 돈사종에 따른 Re수의 분포를 나타내었다. 기본적으로 돈사C에 비해 모형돈사 A, B는 편차가 심하다. 그러므로 정압차 균배를 기초로 입기덕트C의 설계를 표준화할 필요가 있다.

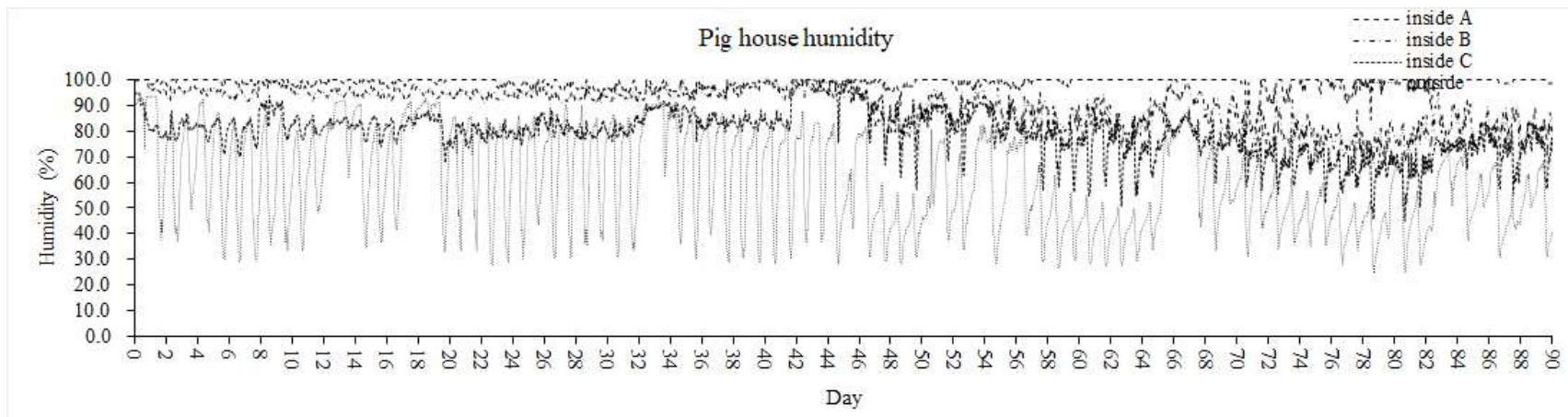
#### (5) 돈사종-BF중-바닥종이 미세환경에 미치는 영향

- 돈사 바닥종(플라스틱 슬롯바닥, 톱밥갈개)이 실내환경(악취포함)에 미치는 영향을 분석하였다. [그림 3.206]과 같이 모형돈사A, B, C 공히 동일한 외기 조건에서 실내온도 차는 유의하게 거의 없었다. 돈사A,B의 실내온도는 25.7℃이고, 돈사C의 실내온도는 약간 낮은 25.0℃이었다. 돈사 설정온도 PLC에 의해서 정밀 제어되고 있었다. 돈사C의 실내온도는 23.3℃로서 돈사 A,B와 거의 차가 없었다.
- 돈사A, B의 평균온도차는 거의 없었지만, 돈사A의 밤낮온도차는 16.43℃, B는 24.13℃로 유의적으로 낮았다. 갈개돈사의 톱밥층은 밤낮온도차에 크게 영향을 미쳤다. 돈사C의 톱밥층에서 생분해가 본격적으로 일어나지 않는 초기실험기간에도 주야간 온도편차 2~3℃ 감소하였다. 이는 톱밥층이 단열재 역할을 한 듯하다.
- 본 2차실험의 외기온이 상대적으로 낮은 가을, 이른 겨울 수행되었다. 특히 이른 아침 온도차는 매우 컸다. 돈사C는 실험종료일 10일간 20℃ 차가 났다. 이런 경우, 보충열원이 필요하다. 돈사의 경우, 톱밥층의 유기물분해로 인한 생분해열 때문에 실내온도는 점증(漸增)하였다. 그러나 추운 날 톱밥층 온도도 20℃이하의 저온과 과량 배뇨로 인한 톱밥층이 질편해지고 돼지체중이 100kg 이상 달해 톱밥층이 다져져 통기(通氣)가 어려운 상태가 되었기 때문으로 발열되지 못한 때문이다. 또한 암모니아 발산이 높아져 암모니아 농도는 크게 증가하였다. 돈사B의 실내온이 상대적으로 A에 비해 높은 것은 자연광시스템 설치로 인한 복사열 때문으로 이해된다. 또한 배기팬 용량이 적어 돈사내 충분한 환기율로 암모니아를 희석하지 못했기 때문이다.
- 돈사C는 [그림 3.207]에 의하면 습도가 가장 낮았다. 이는 톱밥이 실내 습도를 흡수하는 능력이 있기 때문이다. 실내온도가 증가하면 톱밥갈개층이든 피트든 수증기가 증발하여 습도가 높아질 수 있다.



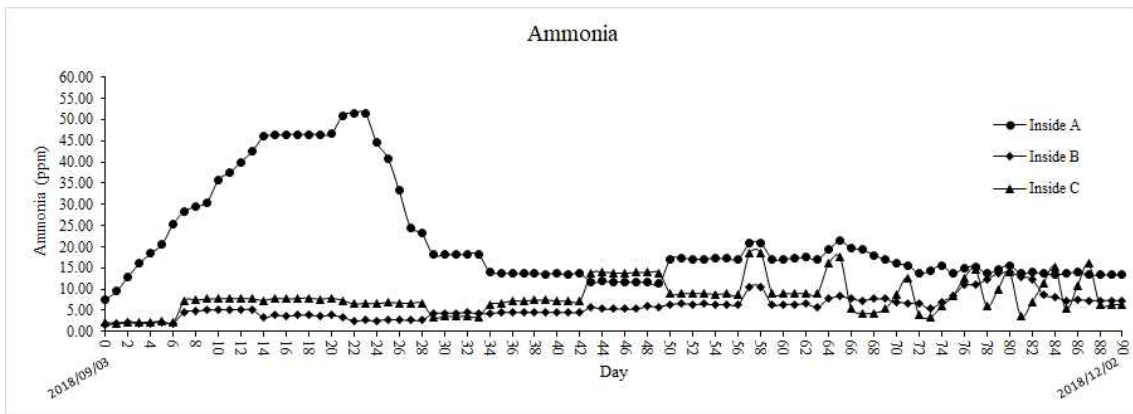


[그림 3.206] 돈사중에 따른 경시적 실내온 변화



[그림 3.207] 돈사중에 따른 경시적 습도 변화

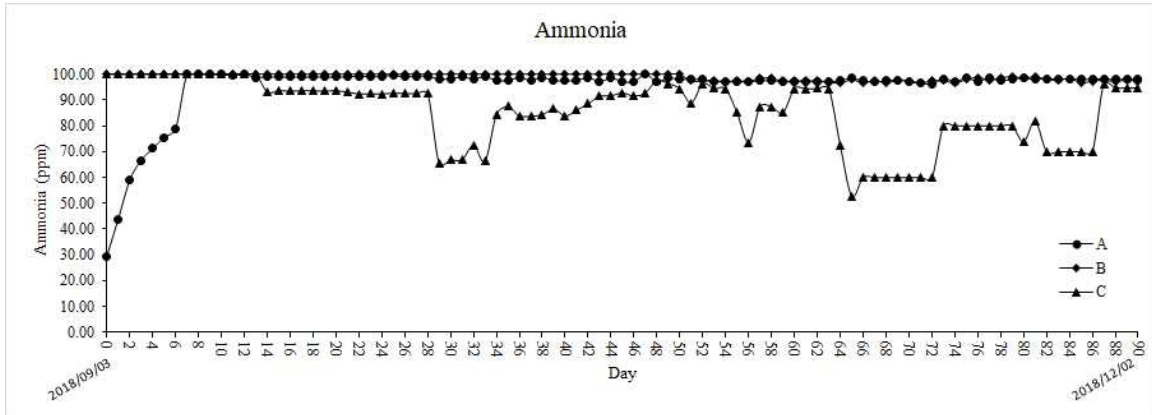
○ [그림 3.208]은 돈사종에 따른 암모니아 농도의 경시적 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 암모니아 농도는 A, B, C 순(順)으로 낮았다. A, B, C의 평균 암모니아 농도는 각각 21.5 ppm, 8.15 ppm, 5.83 ppm으로 분석되었다. B의 암모니아 농도는 A보다 유의적으로 낮았으며, C는 유기물이 풍부한 톱밥으로 인한 암모니아의 흡착으로 판단된다. 질소를 미생물이 생합성하여 소비한다, 그러나 실험14일~실험15일, 실험종료 일주일 돈사C의 암모니아농도가 증가하였다. 깔개혼합물의 질소집적은 미생물의 소화능력보다, 즉, 용해 탄소원을 소모하는 미생물대사보다 크기 때문에 C/N비 불균형이 일어난다. 질소는 ammonification을 통하여 암모니아 가스화하여 휘산(揮散)한다.



[그림 3.208] 돈사종에 따른 암모니아 농도의 경시적 변화

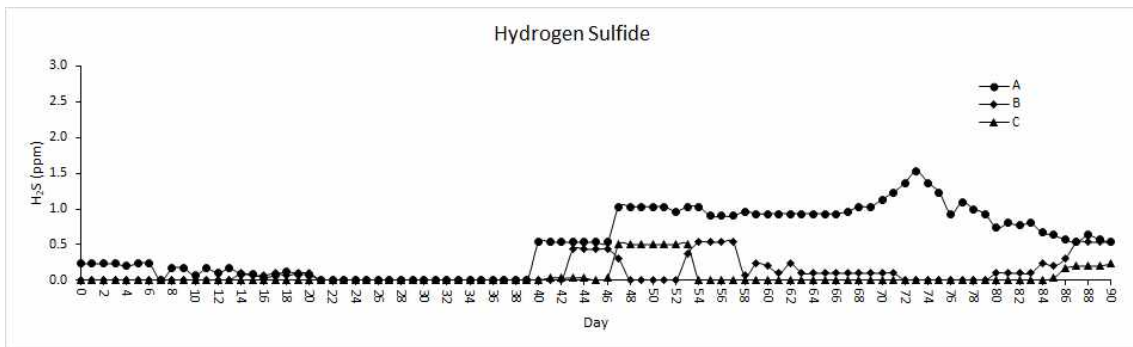
○ 기본적으로 암모니아 발산 및 대책은 :

- 가. 돈분뇨가 톱밥층에서 생분해되는 데 질소 양이 과다할 경우, 암모니아가스화 할 가스화 가능성이 높다. 돈사A의 경우 초기 5주간 암모니아 농도가 다른 두 돈사, B,C보다 현저히 높았다. 환기시스템 효율을 점검할 필요가 있다.
- 나. 외기온이 낮아지고, 그래서 실내온도가 낮아진다. 또한 톱밥층의 배변, 배뇨로 인한 습도가 높아져 혐기상태가 된다. 돈사C 상태개선을 위하여 신선 톱밥을 보충한다.
- 다. 톱밥 깔개층 통기(通氣)를 위하여 교반한다. 이는 생분해를 촉진하여 암모니아 생성을 유발하거나 암모니아가스를 톱밥층에 포집한다.
- 라. 돈사C의 암모니아농도는 B와 거의 같다. 이는 C의 배기팬 개선과 상관이 있다.
- 마. 동일한 구조의 돈사B는 A보다 암모니아 농도가 낮았다. 실험49일 잣나무추출액 살포는 암모니아 저감에 영향을 미친 것같지 않다. 잣나무추출액의 효과는 살포 일주일 후 급격히 감소되었다. 추출액은 지속적인 살포를 통해서 중장기적인 효과클 기대할 수 있다. 결론적으로 추출액 구입비와 추갓 작업 등을 고려해야 한다.



[그림 3.209] 3차실험 암모니아 농도 경시적 삭감율

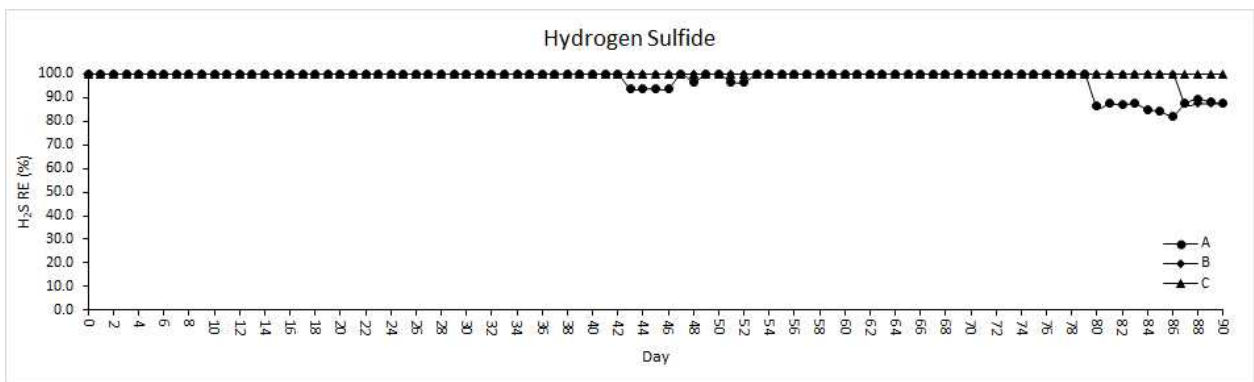
- [그림 3.209]는 돈사종별 암모니아 삭감율을 나타낸 것이다. 돈사종별 삭감율은 A, B, C, 각각 95.32%, 98.95%, 85.85% B가 가장 높았고 C가 가장 낮았다. 하향식 pit BF 가 수평유동형 BF보다 효율이 높은 것으로 분석되어 향후 설계 고려사항이다.
- 모형돈사 C의 바이오필터시스템 외부로 방출 H<sub>2</sub>S 제거효율은 [그림 3.210]과 같이 거의 100%에 이른다. 돈사 내의 H<sub>2</sub>S 농도가 높은 것은 깔개돈사 분뇨 축적 때문으로 이해된다. 돼지 배설물 축적은 깔개의 공극(孔隙)을 막고 산소공급을 억제할 수 있기 때문에 혐기조건을 유발할 수 있다. 또한, 톱밥이 바닥 깔개재에 쌓인 폐기물과 함께 물을 많이 머금고 있기 때문에 혐기성 조건이 활성화되어 H<sub>2</sub>S 더 많아 생성되었다 볼 수 있다.



[그림 3.210] 3차실험 돈사종별 경시적 황화수소 농도 변화

- [그림 3.210]은 모형돈사 종별(種別) 경시적 황화수소 농도 경시적 변화를 나타낸다. 황화수소는 혐기상태의 황유기물의 쉐분해나 황산염의 환원에 의해서 생성된다. 황화수소는 돈사A에서 최대 1.5ppm, 평균 0.53ppm으로 관찰되었고, 돈사B에서 평균 0.11ppm으로 관찰되어 유의적으로 A보다 낮았다. C는 0.05ppm으로 가장 낮았다. 이는 암모니아의 분석결과와 달라 후속 연구가 필요하다.

- 일반적으로 돈사의 최대 허용 황화수소 농도는 3ppm 알려져 있으나 (Chastain, 1999), 이는 사육현장을 고려하면 너무 높게 설정된 것 같다. 우리나라 양돈환경을 고려하면 1ppm을 넘지 말아야 한다. 돈사A 실험74일 최대1.5ppm 관찰되었다. 이는 혐기적 환경에서 미생물의 환원기작이 원인으로 여겨진다. 또한 실험기간 중 배기팬의 고장으로 희석이 제대로 되지 않은 원인도 한몫 한 듯 하다. 바이오필터의 황화수소 삭감율은 비교적 일정하였다. 돈사 A, B의 황화수소 최대 차는 실험74일 1.5ppm분석되었다.
- 돈사C H<sub>2</sub>S 농도가 낮은 것은 깔개돈사 톱밥 때문으로 이해된다. 톱밥 공극(孔隙)이 산소포집 가능하게 하여 혐기환원세균의 활동이 저해되었기 때문에 여겨진다. 그러나 톱밥이 바닥 깔개재에 쌓인 폐기물과 함께 물을 많이 머금고 있기 때문에 깔개층을 제대로 관리하지 않으면 혐기성 조건이 활성화되어 H<sub>2</sub>S 과다 생성될 수 있다. 모형돈사 C의 바이오필터시스템 외부로 방출 H<sub>2</sub>S 제거효율은 그림4.41과 같이 거의 100%에 이른다. 허용기준인 3ppm보다 낮았다. 톱밥깔개가 공극에서 산소를 포집하고 황화수소를 흡착하여 배출농도는 거의 zero 가깝다. [그림 3.211]의 돈사 종별(種別) 황화수소 삭감율은 공히 98~100%에 이르렀다. 그러나 C는 실험종료10일간은 85%로 저감되었다. 이는 재순환수 펌프고장으로 효율이 낮았던 것으로 여겨진다.

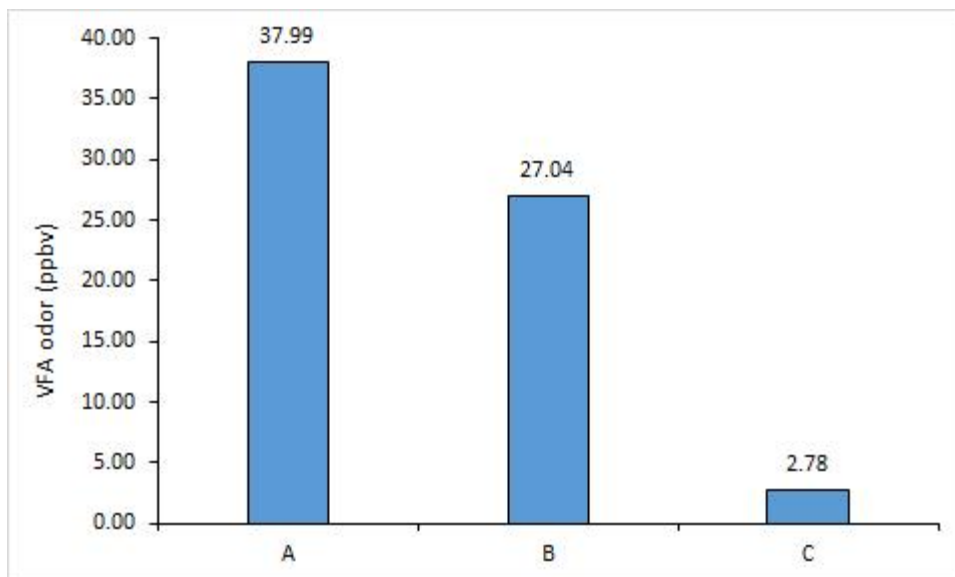


[그림 3.211] 돈사종별 BF 전후 황화수소 경시별 삭감율

- 모형돈사 종별(種別) 평균 휘발성 유기산(VOC) 경시적 약취 농도는 [표 3.28]과 같다. 분석 결과에 따르면 모형돈사 C(깔개돈사)는 A, B(피트돈사)는 12.5%에 지나지 않았다. C의 VOC가 유의적으로 낮은 것은 깔개톱밥재의 흡착 때문으로 이해된다.

[표 3.28] 돈사종별 VOA농도 분포

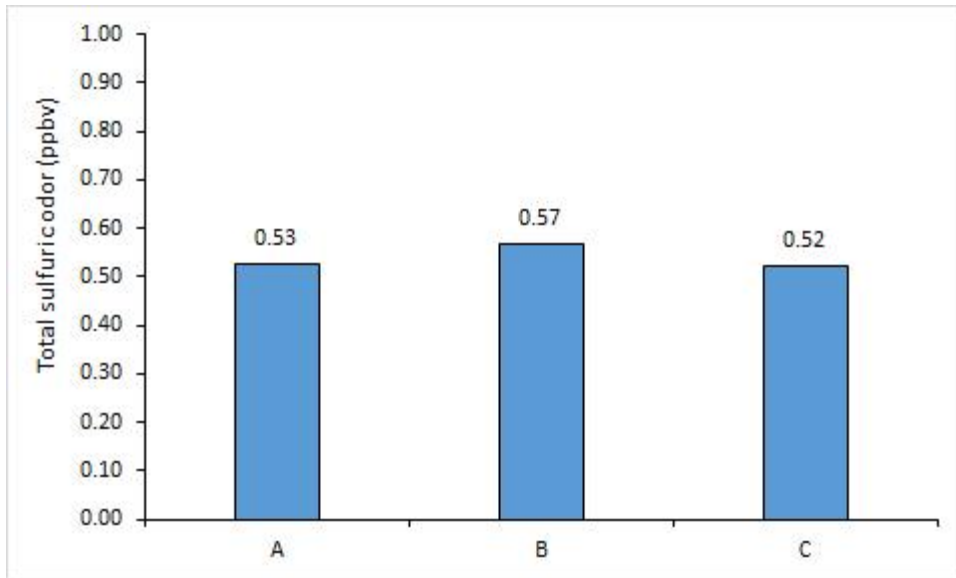
	A	B	C
AA	12.26	0.37	1.07
PA	1.75	0.06	0.72
iBA	0.09	0.07	0.01
BA	0.01	0.02	0.00
iVA	0.14	0.08	0.08
VA	23.75	26.44	0.89
p-CRESOL	0.00	0.00	0.00
INDOLE	0.26	0.09	0.19
SKATOLE	0.00	0.00	0.00
MM	0.00	0.00	0.00
DMS	0.41	0.10	0.43
DMDS	0.11	0.46	0.09
Total VFA	37.99	27.04	2.78
Total Phenol	0.26	0.09	0.19
Total Sulfuric	0.53	0.57	0.52
Total VOC	38.78	27.70	3.49



[그림 3.212] 돈사종별 사육실 VFA 농도 분포

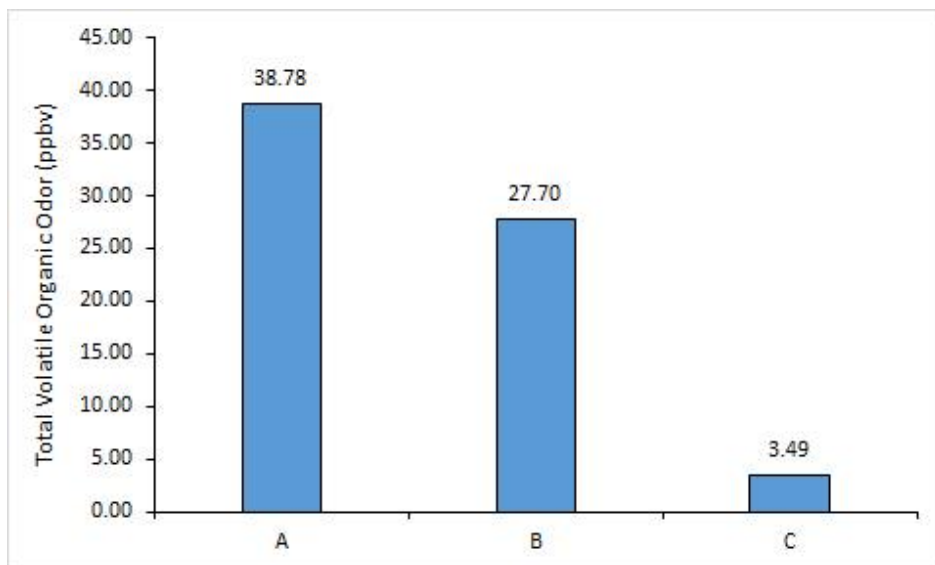
- [그림 3.212]는 돈사종별 VFA농도 경시적 변화를 나타낸 것이다. 모형돈사A의 주된 악취는 약 37.99 ppbv, 휘발성지방산(VFA) 악취 화합물이며, 이는 B VFA 27.04 ppbv, 현저히 높았다. C 2.78ppbv 보다는 월등히 높았다. 이는 C는 톱밥갈개바닥이나 A, B는 피트로서 슬러리 혐기상태에 있기 때문으로 여겨진다.

○ [표 3.28]은 돈사종별 phenolic & indolic계열 악취농도를 나타낸 것이다. Skatole은 3개 돈사 공히 감지되지 않았다. Indole A는 0.26ppbv로서, B 0.09ppbv와 C 0.019ppbv 보다 유의적으로 높았다. 이는 돈슬러리 피트에서 발산되는 phenolic, indolic 악취 때문으로 여겨진다.



[그림 3.213] 돈사종별 경시적 황계열 악취 농도 분포

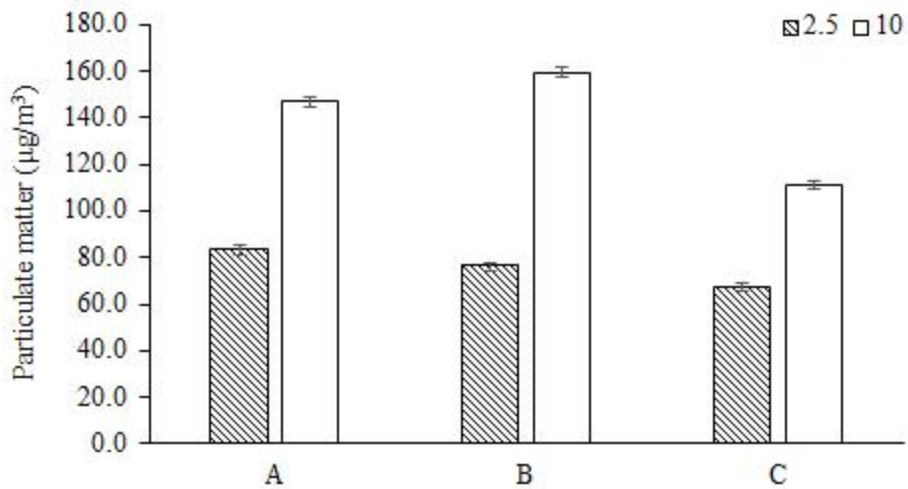
○ [그림 3.213]은 돈사종별 황계열 악취농도변화를 나타낸 것이다. 돈사A, 0.53 ppbv, B, 0.59 ppbv, C, 0.52 ppbv로서 서로 비슷하였다. 돈사갈개종이 황계열 악취에 미치는 영향은 거의 없었다. [그림 3.214]는 돈사종별 경시적 VOC 농도는 돈사A는 38.78 ppbv로서, 돈사B, 27.70 ppbv, 돈사C 3.49 ppbv비해 유의적으로 높았다. 돈사 C는 VOA가 가장 낮았다. 이는 갈개툼 밥재의 흡착 때문으로 이해된다.



[그림 3.214]. 축사종별 경시적 VOA변화

○ [그림 3.215]는 3차 실험 돈사종별 경시적 부유먼지 농도를 나타내었다. 분석결과, 돈사B의 부유먼지 농도는 PM10 159.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM2.5 76.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 A와 유의적 차이는 없었으나,

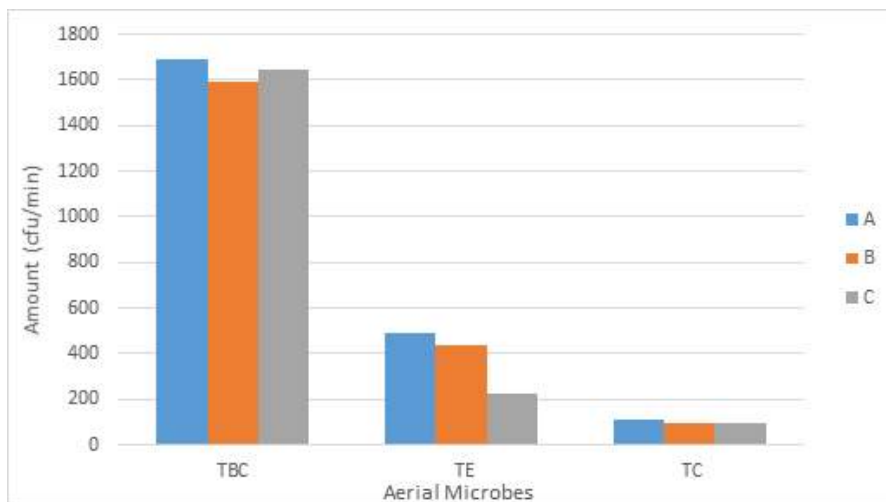
C와의 유의적 차이가 있었다. 돈사A, C의 PM10 농도는 각각 147.13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 111.09  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 분석되었다. 서로 다른 피트돈사와 깔개돈사B의 PM10, PM2.5 유의적으로 C보다 높았다. 이는 서로 다른 환기율 때문으로 이해된다. 낙하세균이 습한 깔개에 부착되고 돼지 활동이 적어졌기 때문이다. 높은 부유먼지는 높은 부유세균을 유발한다.



[그림 3.215] 돈사종별 부유먼지농도 분포

○ 부유세균 (Aerial microbes) :

가. [그림 3.216]은 모형돈사 A, B, C 공기 중 미생물 농도 분포 보여준다. 흥미롭게도 모형돈사C E. Coil 농도가 가장 낮았다. 이는 기존 깔개에 왕겨를 새로 혼합하여 미생물이 비활성화된 때문으로 이해된다. C의 TE 수를 감소시켜 약취가 감소한 것으로 판단된다. 피트돈사는 약취저감을 위하여 처리수를 재순환하므로 이 때 세균들이 부유하면서 공기 중 부유세균 농도가 증가할 수 있다.



[그림 3.216] 돈사종별 세균별 밀도 분포

- 나. 재순환시스템을 적용한 모형돈사B의 TBC 밀도가 동일한 바닥시스템 돈사A보다 낮았다. 이는 정기적인 잣나무 추출액 살포가 항균작용을 하여 부유세균농도가 저감된 것 같다.
- 다. 피트돈사 A,B는 악취저감을 위한 처리수재순환시스템 장착되어 있다. 그러나 A는 단순 폭기조, B는 혐호기가 반복되는 전형적인 수처리시스템이 설비되어 있다. 그러므로 돈사B의 처리수가 매우 안정적 공정을 거치므로 A피트보다 처리수내 미생물농도가 높다 흥미롭게도 돈사B에 잣나무추출액 살포는 피트의 미생물에는 영향을 미치지 않는다. 이는 추출액을 희석하여 살포한 때문이거나 피트슬러리 전에 증발된 때문으로 이해된다.

[표 3.29]. 돈사종별 피트와 깔개미생물 농도

Slurry pit A	Slurry pit B	Bedding material C
$8.2 \times 10^{10}$ cfu/ml	$12.7 \times 10^{10}$ cfu/ml	$148 \times 10^{10}$ cfu/ml

(6) 잣나무 추출액 살포가 악취저감에 미치는 영향

- 돈사B 악취저감 효율을 검정하기 위하여 처리수 재순환 외에 잣나무 추출액을 추가로 실험 49일~종료시까지  $100\text{ml}/\text{m}^2/\text{일}$ , 총  $1200\text{ml}$  하루에 3번에 나누어 살포하였다.

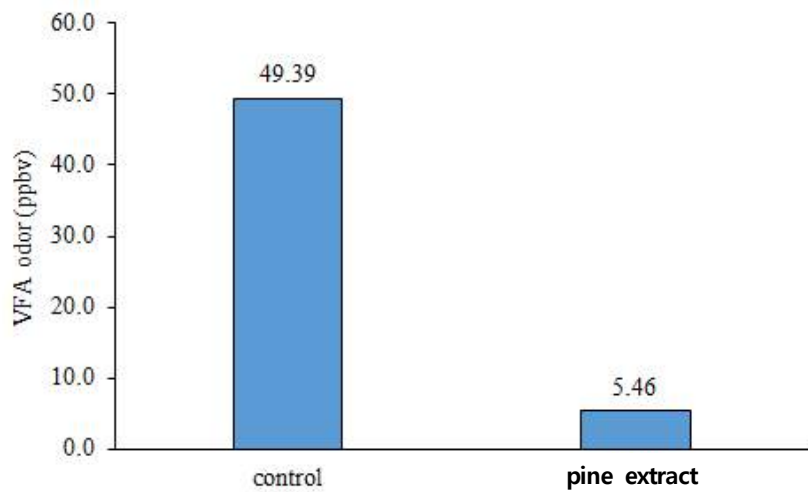


[그림 3.217] 잣나무추출액 살포실상도

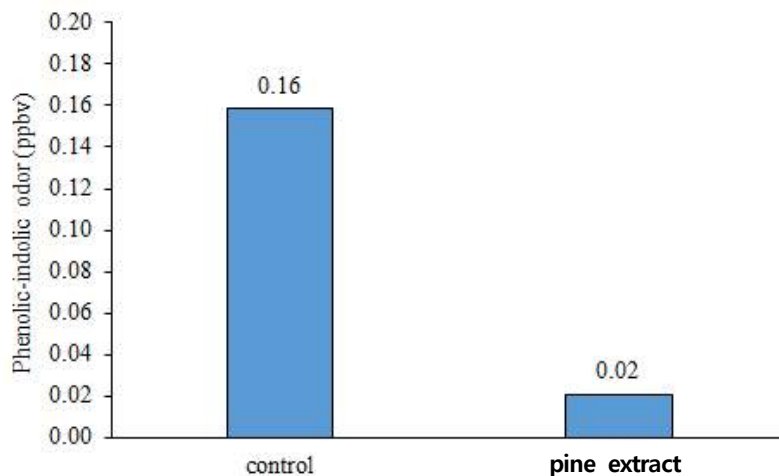


○ [그림 3.218]은 돈사B의 잣나무 추출액의 VFA 악취에 미치는 영향을 나타낸다. 분석자료에 의하면 돈사A, 49.39 ppbv,가 돈사B, 5.46 ppbv, 보다 유의적으로 높다. 잣나무 추출액이 VFA 악취를 약 88.94% 저감되었다.

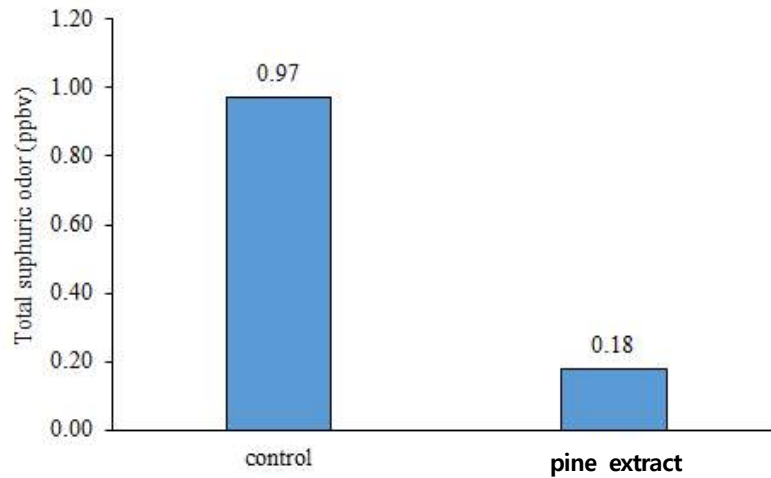
○ [그림 3.219]는 phenolic-indolic 악취에 대한 대조구(A)와 처리구(B)의 분포를 나타낸 것이다. B, 0.18ppbv로서 A, 0.97ppbv, 보다 유의적으로 낮았다. 잣나무 추출액은 phenolic-indolic 악취를 약 81.44% 저감하였다. VFA, phenolic-indolic 악취와 함께, 처리구(B) 황계열([그림 3.220]) 악취, 5.66 ppbv,도 대조구(A), 50.52 ppbv, 보다 유의적으로 낮았다. 결론적으로 잣나무 추출액은 중화제로서 VFA, phenolic-indolic, 황계열 악취 저감은 효율적이다.



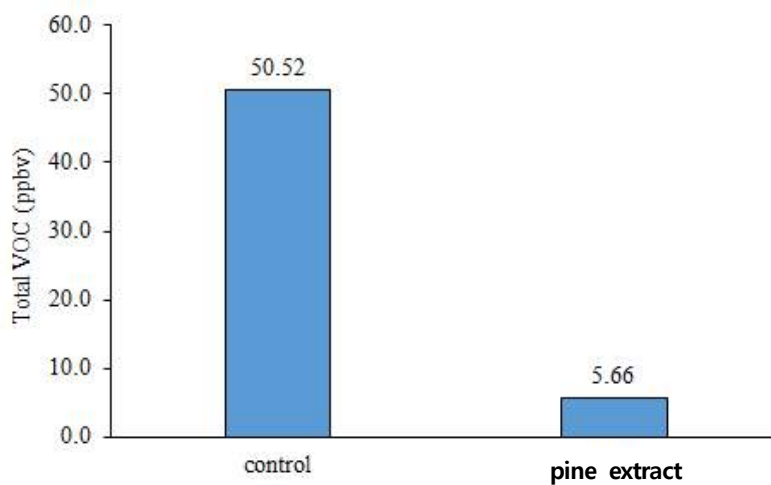
[그림 3.218] 돈사A (대조구), 돈사B(처리구)별 VFA 농도 분포



[그림 3.219] 돈사A (대조구), 돈사B(처리구)별 phenolic-indolic 악취농도 분포

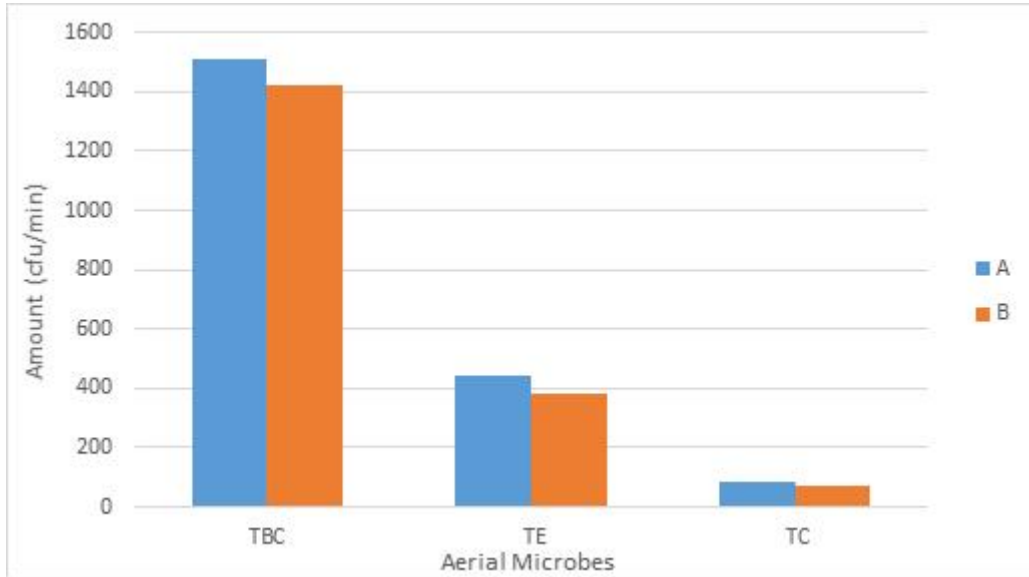


[그림 3.220] 돈사A (대조구), 돈사B(처리구)별 황계열 농도분포



[그림 3.221] 대조구(A), 처리구(B)의 VOC농도 분포비교

- [그림 3.221]은 대조구, 처리구의 VOC 농도분포를 나타낸 것이다. 분석결과, A의 VOC 약취, 50.52ppbv,는 처리구B, 5.66ppbv, 보다 유의적으로 높았다. 이는 약 88.79% 삭감율을 보였다.
- 부유세균 (Aerial microbes) :



[그림 3.222] 돈사종별 부유세균 밀도 분포

- [그림 3.222]은 돈사종별, 공기중 부유세균종을 나타낸 것이다. 처리구(B)의 TBC, TE, TC 등이 대조구에 비해 감소되었다. 이는 잣나무 추출액이 함유하고 있는 항균성에 기인한 것 같다. 그러나 통계적으로 유의하지 않았다. 흥미롭게도 부유세균은 감소하였으나 PM은 증가하였다. 이는 잣나무내 화합물의 확산에 의한 듯하다.

#### (7) 미생물제제가 톱밥깔개돈사 미세환경에 미치는 영향

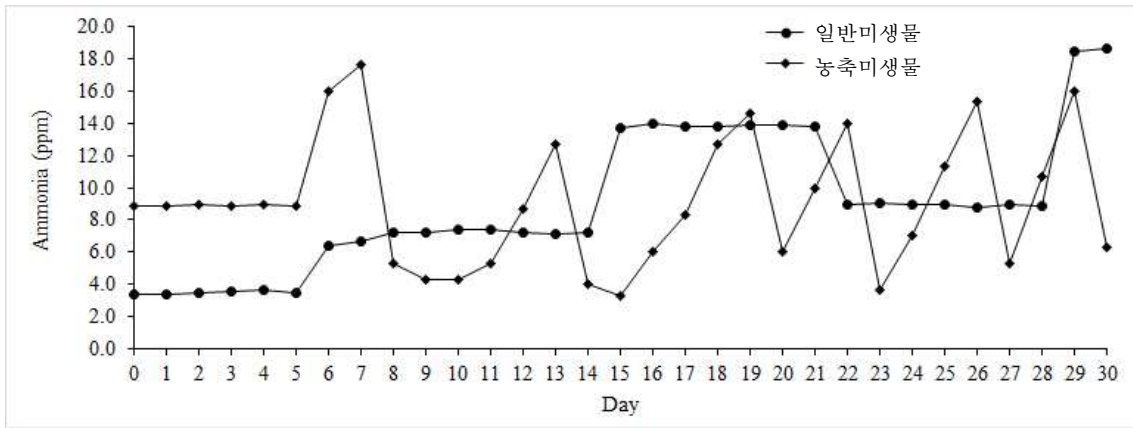
- 돈사B에 10월22일 농축분말 미생물제를 투여량  $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ , 기존 톱밥깔개에 균증하게 추가 살포하였다. 즉, 사육실  $12\text{m}^2$  면적에 총 6kg을 투여하였다.



깔개돈사 미생물제제 살포 실상도

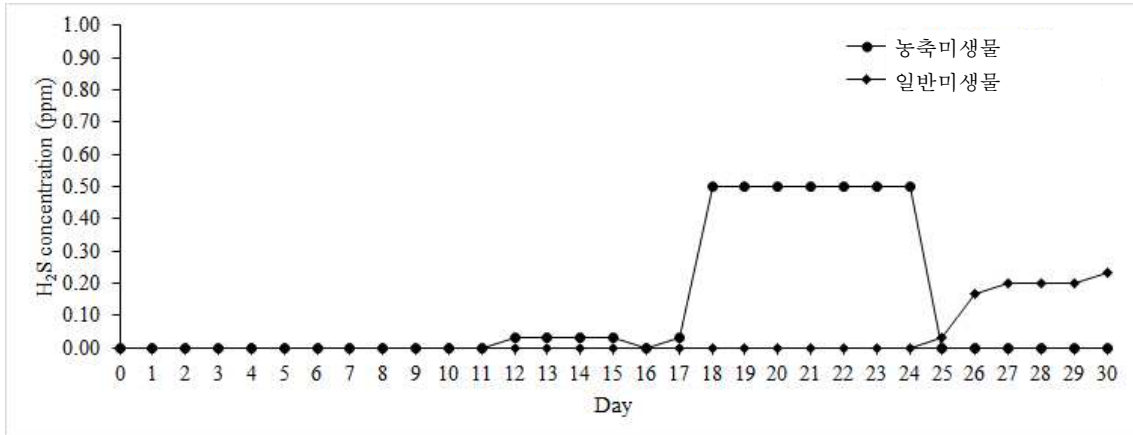
- 미생물제제 살포후 경시적으로 암모니아농도는 점증하였다. 실험기간 중 미생물 살포 후 암모니아 농도는 3.5ppm, 15일 후 6~7.2 ppm로 증가하였다. 실험15일이후 13.9ppm까지 증가

하였다가 실험22일 8.9ppm 감소하였다. 실험28일 후 급작스럽게 18.0ppm까지 증가하였다. ([그림 3.223])

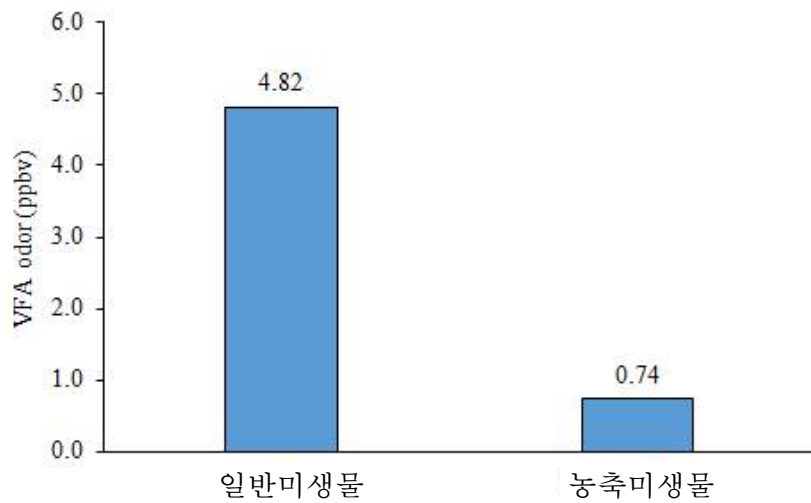


[그림 3.223] 깔개돈사C의 암모니아 일반 및 농축 미생물제제 투여후 암모니아 농도 경시적 저감변화

- 분말 미생물제제가 깔개돈사C의 휘산 암모니아 농도를 효율적으로 감소시키지 못하였다. 그 이유는 첫째, 미생물제제가 감당할 정도 이상으로 유기물 (가축분뇨)이 생성되었고, 둘째, 깔개 미생물제제에 위해(危害)한 물질이나 불량한 바닥상태관리 때문에 미생물 증식이 충분히 일어나지 못했다. 위해물질이나 미생물에 유해한 상태는 유해미생물이나 무기물, 암모늄 이온 등 미생물이 감당할 수 없는 상태를 말한다.
- [그림 3.223]는 투여 후 톱밥돈사C의 휘산 암모니아 농도의 경시적 변화를 나타낸 것이다 (1st). 실험31일 암모니아 저감 농축미생물제제를 투여하였다(2nd). 2차 투여후 암모니아 농도는 8.9 ppm. 실험6~8일에는 16.0~18.0 ppm으로 나타났다. 그러다 급락(急落)하여 4.0~5.0ppm를 유지하다, 다시 증가하여 12.0ppm에 이른다. 깔개돈사에 새로운 톱밥을 보충하였더니 암모니아 농도가 급락하였다. 이런 현상이 실험종료일까지 반복하였다. 깔개돈사C를 암모니아 농도를 제어하기 위해서는 ICT 환기 시스템 제어 뿐만 아니라 사육밀도, 깔개의 적정 관리 등이 전제되어야 한다.
- 1차 일반미생물제제 깔개돈사C의 황화수소 농도 변화는 [그림 3.224]와 같다. 실험초기에는 0.1ppm에 지나지 않으나 실험17~실험24일에는 0.5ppm으로 증가하였다. 그러나 실험25일 이후에는 거의 0에 가까웠다. 2차 농축미생물제제 투여한 이후 실험24일까지 매우 낮게 (0.0ppm) 유지되다 25일 이후 H2S는 0.2ppm 까지 점증되었다. 농축미생물 투여후 H2S 농도 매우 낮게 유지되어 농축미생물 황화수소 저감에 효율적임을 관찰하였다.

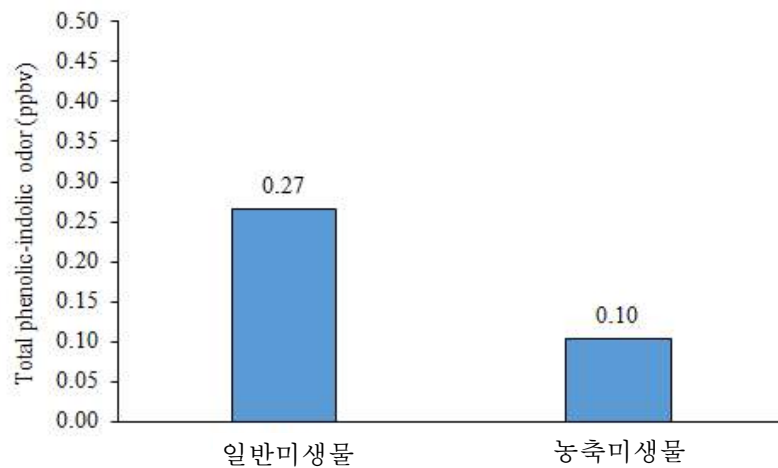


[그림 3.224] 깔개돈사C 일반/농축 미생물제제 살포 황화수소 농도의 경시적 변화



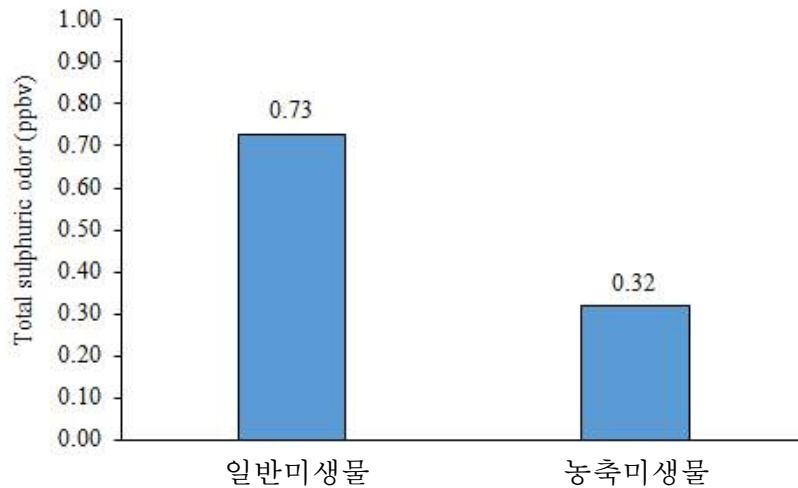
[그림 3.225] 깔개돈사C의 미생물제제별 VFA미치는 영향

○ [그림 3.225]는 3차 실험 깔개돈사 미생물종별 VFA 악취농도를 나타낸 것이다. 농축처리미생물제제 투여후 VFA 악취농도 0.74 ppbv로서 일반미생물 4.82ppbv 유의적으로 낮았다. 농축미생물이 VFA저감에는 효율적이었다.



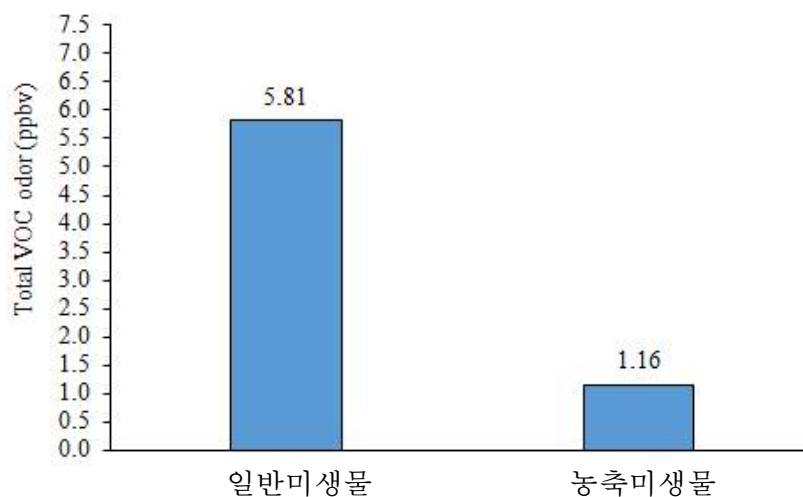
[그림 3.226] 깔개돈사 미생물 종별 phenolic-indolic 악취농도 분포

- [그림 3.226]은 깔개돈사 미생물종별 phenolic-indolic 악취농도를 나타낸 것이다. 농축처리 미생물제제 투여후 phenolic-indolic 악취농도 0.27ppbv로서 일반미생물 0.10ppbv 유의적으로 낮았다. 농축미생물의 phenolic-indolic 삭감율은 62.96%을 나타내었다.
- [그림 3.227]은 3차 실험 깔개돈사 미생물 종별(種別) 황계열 악취농도를 나타낸 것이다. 농축처리미생물제제 투여후 황계열 악취농도 0.73ppbv로서 일반미생물 0.32ppbv 유의적으로 낮았다. 농축미생물의 phenolic-indolic 삭감율은 56.16%을 나타내었다.



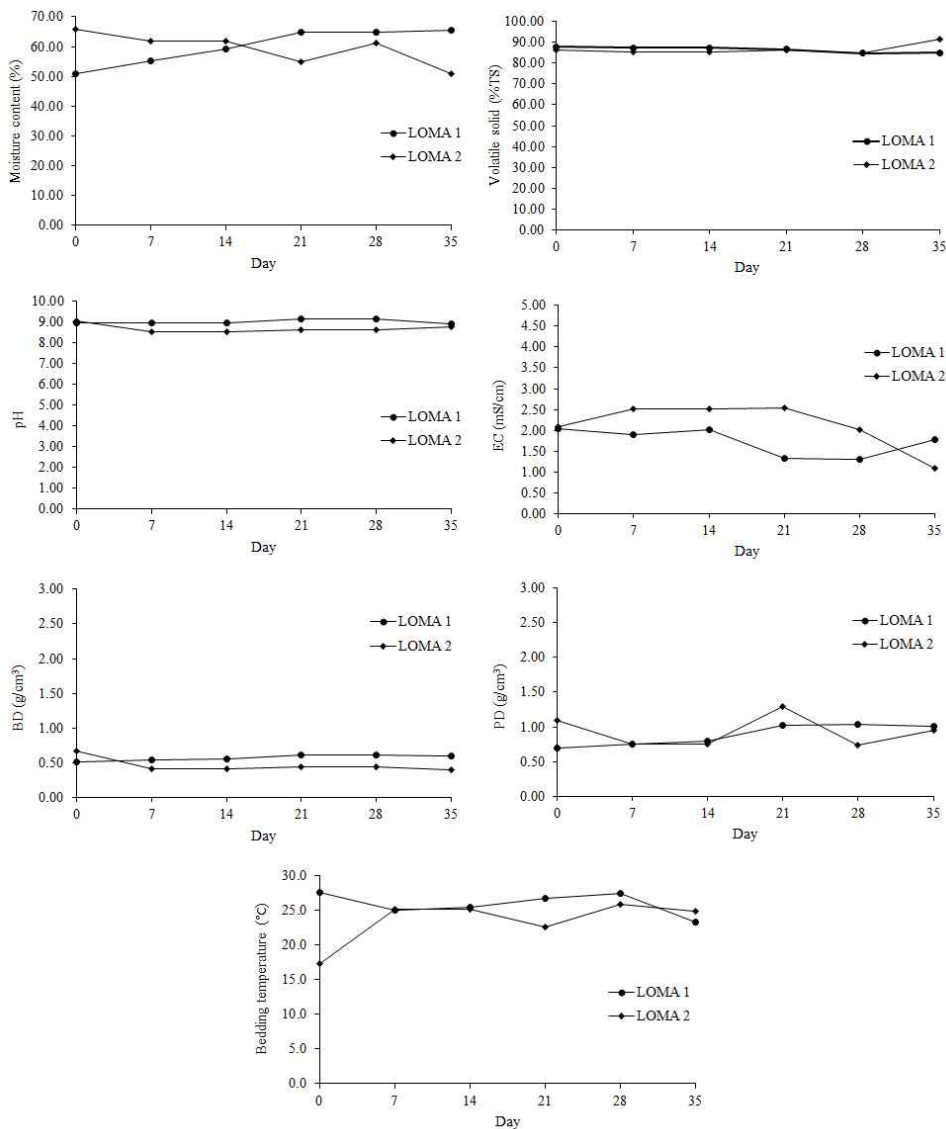
[그림 3.227] 깔개돈사 미생물종별 황계열 악취농도 분포

- [그림 3.228] 3차 실험 깔개돈사 미생물 종별(種別) VOC 악취농도를 나타낸 것이다. 농축처리미생물제제 투여후 VOC 악취농도 1.16ppbv로서 일반미생물 5.81ppbv 유의적으로 낮았다. 농축미생물의 VOC 삭감율은 80.13%을 나타내었다.



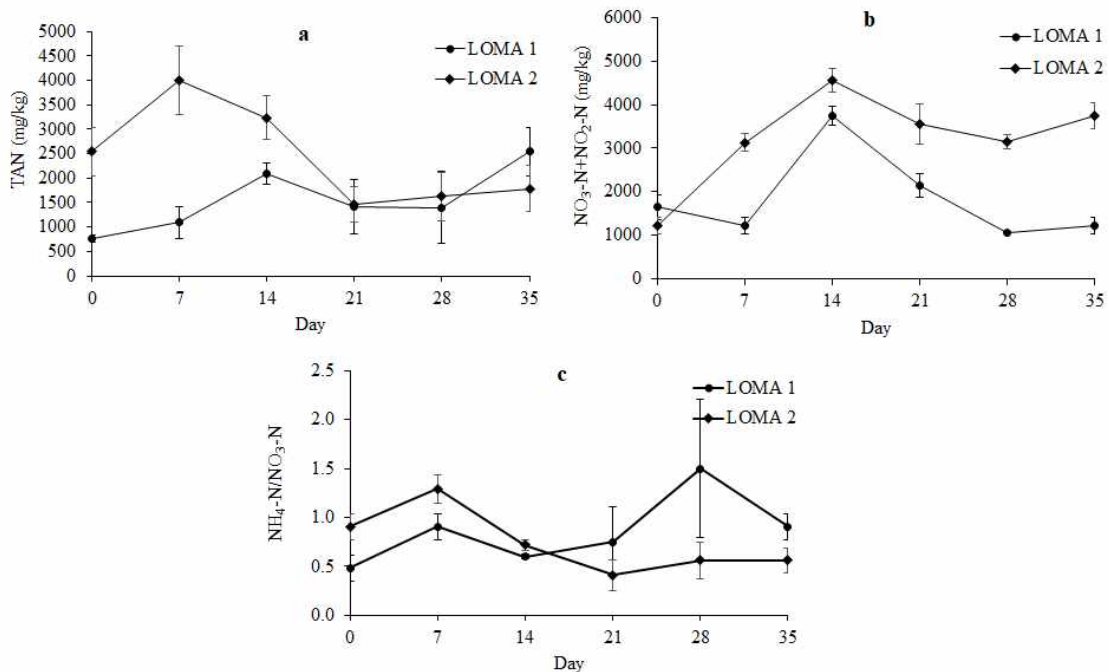
[그림 3.228] 깔개돈사 미생물종별 VOC 악취농도 분포

- [그림 3.229]는 돈사바닥중(깔개중)에 따른 깔개 이화학적 특성을 나타낸 것이다. 일반미생물 투입 깔개 함수율은 50~70%로서 깔개톱밥의 함수율은 퇴비화에 적절하다. 일반미생물과 농축미생물간 함수율 농도 변화는 유의적 차이가 없었다.
- 돈사바닥중(깔개중)에 따른 깔개 이화학적 특성 중 VS도 함수율과 마찬가지로 일반미생물 투입 깔개 함수율은 50~70%. 이 범주의 깔개톱밥의 함수율은 퇴비화에 적절하다. 일반미생물과 농축미생물간 VS 변화는 유의적 차이가 없었다. 일반적으로 VS 농도가 거의 변화지 않는 것으로 보아 미생물에 의한 생분해가 거의 일어나지 않은 것으로 판단된다.
- 깔개의 pH 8.5~9의 범주에 있고 미생물종별 거의 pH에 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다. 깔개의 EC는 1~2.5mS/cm 범주에 있다. EC가 높으면 무기물의 함량이 높은 것으로 여겨진다.



[그림 3.229] 깔개돈사 이화학적 특성 경시적 변화 (\*1 : 일반미생물 2 :농축미생물)

○ 질소분율을 분석하는 것은 질산화공정을 이해하는 주요 지표가 된다. 암모니아 약취는 질소의 휘산에서 유래되기 때문이다. 우리는 기질 질소분율에서 산화미생물 활성을 확인할 수 있다. 일반미생물투여시 초기 깔개 TAN은 763.81mg/kg, 실험종료 2538.48mg/kg 점증하였다. 농축미생물 초기 TAN 2538.48mg/kg, 실험7일 4010mg/kg 증가하였다가 최종 1787.04mg/kg 감소하였다. ([그림 3.230])



[그림 3.230] 미생물종별 톱밥깔개의 질소분율(LOMA1 : 일반미생물 LOMA2 :농축미생물)

○ 일반미생물시 질산염 농도는 1648.81mg/kgTS에서 실험14일 3740.22mg/kg 증가하였다가 1211.44 mg/kg TS 감소한다. 암모니아 질소는 축분의 집적에 의한다면, 질산염은 미생물 활성에 의한 질산화과정이다. 미생물종별에 관계없이 질산화율은 거의 비슷하였다. [그림 3.230]에서 보듯 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 비는 거의 비슷한 경향을 보였다. 그러므로 미생물종이 깔개의 질산화에 크게 영향을 미치지 못한다할 수 있다.

(8) 사료종(種)이 돼지 생산성에 미치는 영향

○ 본 연구에서 사육환경의 질을 제고하기 위한 ICT시스템을 적용하고 운영하였다. 사육환경은 생산성과 직결되므로 가축의 생산성 분석실험도 2차(5월초~8월말), 3차 (9월초~12월초)에 걸쳐서 수행하였다. 3차 실험에서 2종의 사료(N, I)를 사용하였다. 실험40일은 N사료를([표



3.30]), 이후 5일(실험41~실험90일)까지는 I사료([표 3.31])를 급이 하였다. 분석결과는 각각 [표 3.30], [표 3.31]와 같다.

[표 3.30] N사료 구성제재

영양소	함유율
Crude Protein (%)	19
Crude Fat (%)	5
Crude Fiber (%)	8
Mineral (%)	8
Calcium (%)	0.50
Phosphor (%)	0.80
Lysine (%)	0.95
Digestible Energy (Mcal/kg)	3.5
Digestible Protein (%)	13

[표 3.31] I사료 구성제재

영양소	함유율
Crude Protein (%)	16.5
Crude Fat (%)	5.5
Crude Fiber (%)	4.5
Mineral (%)	9.8
Calcium (%)	0.70
Phosphor (%)	0.90
Lysine (%)	0.95
Digestible Energy (Mcal/kg)	3.5
Digestible Protein (%)	13.50

- 일반적으로 N, I사료 구성제재가 거의 비슷하였다. 차이점은 N사료는 조단백, 조섬유가 많은 반면, I사료는 무기물, 칼슘, 인 등의 함유가 높았다.
- 돈사중별 입식체중과 출하체중은 돈사중별(A, B, C) 각각 [표 3.32], [표 3.33], [표 3.34]와 같다. 돈사A의 입식체중은 평균 42.2 kg, 출하체중은 106.5kg으로 나타났다. 사육일 90일동안 체중 64.3kg 증체되었다. 돈사B의 입식체중은 평균 42.1kg, 출하체중은 106.0kg으로 나타났다. 사육일 90일동안 체중 63.9kg 증체되었다. 돈사C의 입식체중은 평균 42.2 kg, 출하체중은 108.3kg으로 나타났다. 사육일 90일동안 체중 65.8kg 증체되었다.
- 돈사 A, B, C 공히 증체는 크게 차이가 없었다. 다만 C의 증체율이 A, B보다 약간 높게 나타났다. 보다 정밀한 생산성을 결정하기 위하여 사료요구율 (FCR \_feed conversion ratio) 분석하였다.

[표 3.32] 돈사A의 증체율

돼지고유번호	성별	입식	출하
21	Female	41	105
13	Male	46	97
23	Female	42	101
4	Male	39	93
5	Female	46	109
16	Male	44	109
7	Female	42	109
18	Male	41	117
29	Male	42	112
20	Female	39	111
Total		422.0	1064.6
Average		42.2	106.5

[표 3.33] 돈사B의 증체율

고유번호	성별	입식	출하
11	Female	38	89
12	Male	45	117
22	Male	45	119
24	Female	45	112
15	Female	38	96
6	Female	40	97
17	Male	49	128
8	Male	41	101
19	Male	39	101
10	Female	41	99
Total		421.0	1059.9
Average		42.1	106.0

[표 3.34] 돈사 C의 증체율

고유번호	성별	입식	출하
1	Female	41	100.0
2	Female	46	116.0
3	Male	42	112.0
14	Female	39	97.3
25	Male	46	122.7
26	Female	44	106.7
27	Female	42	104.0
28	Male	41	102.7
9	Male	42	113.3
30	Male	39	-
Total		422	974.67
Average		42.2	108.30

- [표 3.35]는 3차 실험 일일사료섭취율을 나타낸 것이다. 분석결과 A, B는 2.01kg/head/day로 차이가 없으나 C는 2.18kg/head/day로 A, B 보다 약간 높았다. 이는 C 톱밥 깔개 복지가 원인일 수 있다. 돼지가 움직이고 파는 자연습성과 관련 있을 수 있다. C 돼지가 많이 움직이니 에너지 소모가 많고 그러므로 사료취식이 많은 것 같다.

[표 3.35] 돈사종별 증체율

실험실	A	B	C
	-----kg/head/day-----		
0	1.19	1.19	1.19
6	1.19	1.19	1.19
13	1.19	1.19	1.19
20	1.19	1.19	1.19
27	1.43	1.43	1.43
34	1.43	1.43	1.59
41	2.14	2.14	2.38
48	2.50	2.50	2.78
55	2.50	2.50	2.78
62	2.50	2.50	2.78
69	2.50	2.50	2.78
76	2.50	2.50	2.78
83	2.86	2.86	3.18
90	2.98	2.98	3.31
average	2.01	2.01	2.18

- 모형돈사A의 다른 두 돈사보다 암모니아, VOA 농도가 B, C보다 높았다. 상대적으로 악취농도가 높으면 식욕이 저하되고 그래서 취식량도 저하될 수 있다. 그러나 돈사간 큰 차이는 없었다. A, B, C 모형돈사 공히 전반기 40일은 N사료를, 하반기 50일은 I사료를 급이하였다. 결과는 각각 [표 3.36], [표 3.37]과 같다.
- 전반기 (0~40일) 돈사종별 생산성 비교실험은 [표 3.36]과 같다. 평균 사료섭취율은 C가 A,B보다 높으나 증체율 B, C가 A보다 높았으며 사료요구율(FCR)은 B가 A, C 보다 낮았다. 결과적으로 전반기 돼지 생산성은 유의적인 차이는 나지 않았다.

[표 3.36] 전반기 돈사종별 생산성비교 (실험1일~실험40일)

지표	A	B	C
Average weight (kg)	65.00±7.81	67.00±6.56	66.67±6.11
Average feed intake (kg/day/head)	1.43	1.43	1.49
Average daily gain (kg/day/head)	0.57	0.62	0.61
Feed Conversion Ratio (FCR)	2.49	2.29	2.44

- 하반기 돈사종별 돼지 생산성([표 3.37])은 유의적인 차이는 없었다. 다만 C 증체가 A, B보다 약간 높게 나타났다.

[표 3.37] 하반기 돈사종별 돼지 생산성비교(실험41일~실험90일)

지표	A	B	C
Average weight (kg)	106.4±7.3	105.9±12.3	108.3±8.3
Average feed intake (kg/day/head)	2.57	2.57	2.91
Average daily gain (kg/day/head)	0.83	0.78	0.83
Feed Conversion Ratio	3.10	3.29	3.49

- 전반기, 돈사종별 사료요구율은 각각 A, 2.49, B 2.29, C, 2.44로서 유의적 차이는 없었다. 일반적으로 FCR 3~3.5 범주이나, 본 실험에서는 2.29~2.49으로 생산성이 제고되었다. 이는 ICT적용으로 9% FCR개선효과가 나타났다. 이는 정밀 환경제어가 한 요인일 수 있다. 하반기 돈사종별 FCR은 [표 3.37]에 주어져 있다. 분석결과, A, 3.10, B, 3.29, C, 3.49로서 유의적 차이는 없었다. 하반기 FCR 3~3.5로서 전반기와 하반기 성장단계가 다르기 때문에 직접 비교는 어렵다. 다만 B사료 풍미가 좋아 돼지의 사료섭취가 A사료보다 높았다.

### (7) 돈사종별 경제성 분석

- 돈사 시스템의 ICT개발은 운영 효율성을 향상시켜 사용자가 얻는 경제적 이익에 영향을 미칠 수 있다. 모형돈사 A, B, C에 대한 경제적 분석은 [표 3.38]과 같다. 경제적 분석은 개발된 돈사 규모의 실제 상황을 기반으로 산정되었다. 모형돈사에 대한 자본 비용은 ICT 장비 설치에 이미 적용된 것으로 가정된다. 다만 우리나라 관련 자료는 매우 한정적이라 한미가 혼합되어 일관되게 USD로 환산하여 제시하였다.
- Benefit Cost Ratio (BC Ratio)를 사용하여 이 계획이 합리적인지 또는 산업적 규모에 적용되지 않을지 여부를 조사했다. 우리가 추정된 경제적 분석에 따르면 가장 높은 BCR은 모형돈사 B (1.26), C (1.21), A (1.07) 순(順)으로 나타났다. BC비가 높을수록 수익성이 높은 투자를 의미한다. 현장규칙은 수익이 프로젝트 비용보다 크면 좋은 투자라는 것이다. BC비가 1보다 크면 프로젝트를 투자 가치가 있음을 의미한다. 본 연구에서 전 모형돈사 공히 BC비가 1 이상이므로 수익성 있는 투자라 말할 수 있다. B 모형돈사의 BC비 1.26으로 다른 유형

돈사보다 높았다. 이는 B 모형돈사가 A 와 비교하여 환기용 배기팬을 하나만 사용하므로 전력요금이 낮아 더 경제적이 될 수 있다.

- C 모형돈사는 A, B의 중간 BC비로 분석되었다. C 모형돈사는 환기를 위해 배기팬을 하나만 사용하였지만 일상 톱밥 깔개 관리작업이 필요로 하였으므로 더 많은 자본 비용이 필요하였다. C에 대한 수익으로는 퇴비가 별도의 수익이 될 수 있다.
- 경제성 분석시 A, B 모형돈사의 경우 생물학적 폐수처리가 슬러리를 처리하고 돈사에 사용될 바이오필터용 재순환수 또는 분무용 물로서 사용하기 위해 MBR을 재순환하는 데 비용이 필요하다는 점을 유의해야 한다. 생물학적 폐수처리를 설치하기 위한 자본은 선택 사항이므로 경제적 분석에 포함되지 않았다. 노동 비용도 경제 분석에 포함되지 않았다. 때로는 작업인 없이 자신의 손으로 농장을 운영하므로 이 분석은 많은 작업자가 필요하지 않은 농장 규모를 기초하여 산정되었다. 근로자 비용은 근무지에 따라 다르다.

[표 3.38] 돈사종별 경제성분석

항목	사양	단위	돈사종별		
			A	B	C
<b>Capital cost</b>					
Building with ICT system	(dimension 3000 mm width x 4000 mm long x 2000 mm height) including evaporative cooling system	(USD/yr)	4,000	4,000	4,000
Biofilter system	A : vertical; B : Horizontal underground; C : Hybrid (vertical + horizontal)	"	1,000	1,000	1,000
Air fan for ventilation	A : 2 air fan x 0.45 Kwh; B : 1 air fan 0.5 Kwh; C: 1 air fan 0.5 Kwh	"	800	450	450
Water pump	A: 3 pump x 0.5Kwh; B: 3 pump x 0.5 Kwh; C: 2 pumps x 0.5 Kwh	"	900	900	600
<b>Operational cost</b>					
<b>Facilities depretiation cost</b>					
Building depretiation	A, B, C assumption : for total 5 years durable utilization	(USD/yr)	800	800	800
Biofilter system depretiation	A, B, C assumption : for total 5 years durable utilization	"	200	200	200
Air fan and Water pump depretiation	A, B, C assumption : for total 5 years durable utilization	"	160	90	90
<b>Routine Operational cost</b>					
Pigs 돼지	capacity 9 heads of pigs, 25 kg weight (USD 200/head) for starting growing period (2 times growing period)	"	3,600	3,600	3,600
Feed 사료	average 2.1 kg/day, 105 days growing per period, feed price (USD 0.45/kg)	"	893	893	893

[표 3.38] 돈사종별 경제성분석(계속)

항목	사양	단위	돈사종별		
			A	B	C
Sawdust (bedding litter)	4 ton/period x 2 period x USD 50/ton	(USD/yr)	-	-	400
Electricity					
Air Fan motor	A: 2 airfan x 0.5KwH x 20hours/day x 210days/year x 0.7 USD per KwH; B: 1 air fan x 0.5 KwH x 20 hours/day x 210 days/year x 0.7 USD per KwH; C : 1 air fan x 0.5 KwH x 20 hours/day x 210 days/year x 0.7 USD per KwH;	(USD/yr)	2,940	1,470	1,470
Water pump	A : 3 water pump x 1 KwH x 20 hours/day x 210 days/year x 0.7 USD per KwH; B : 3 water pump x 1 KwH x 20 hours/day x 210 days/year x 0.7 USD per KwH; C : 2 water pump x 1 KwH x 20 hours/day x 210 days/year x 0.7 USD per KwH. One water pump might facilitate for 100 pigs	(USD/yr)	793.80	793.80	529.20
Light	0.02 KwH x 8 hours/day x 365 days/year x 0.7 USD per KwH. One light might facilitate 20 heads	(USD/yr)	27.60	27.60	27.60
Labor cost	A and B : for pig growing and facilities maintenance; C : for pig growing and facilities maintenance and bedding litter management. Assume that 10 % from production cost	(USD/yr)	750.00	750.00	1,000.00
Total operational cost		(USD/yr)	10,164.	8,624.	9,009.
Product					
Pig yields	9 heads x 2 periods/year x 500 USD/head	(USD/yr)	9,000.00	9,000.00	9,000.00
Solid fertilizer	9 heads x 2 periods/year x 5 kg/head/day x 105 days/period x 0.2 USD/kg fertilizer	(USD/yr)			1,890.00
Liquid fertilizer	9 heads x 2 periods/year x 5 L/head/day x 105 days/period x 0.2 USD/L fertilizer	(USD/yr)	1,890.00	1,890.00	
Income	수익		10,890.	10,890.	10,890.
Profit	이윤	(US/yr)	725.58	2,265.	1,880.
B/C ratio (benefit cost ratio)			1.07	1.26	1.21

## 5. 3차년도 연구의 문제 논의 및 보완사항

### 1. Software for ICT

가. ICT팀은 [그림 3.231]의 환경자료를 근거로 온도, 습도를 제어하는 PLC를 개발하였다. 1차 ICT 운영결과 정밀 환경제어를 위하여 팬용량 설정, 펌프운용 timing 설정, 암모니아 치료 등이 필요함을 인식하였다. [그림 3.232]는 이의 문제점을 보완하여 data sheet

양식을 만들었다.

TIME	OUTSIDE		ROOM		INSIDE		ROOM		INSIDE		ROOM		INSIDE	
	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)	TEMP (°C)	HUM (%)
00:00	8.2	81.1	7.5	80.5	7.9	83.6	11.0	85.3	19.5	89.8	7.7	79.4	8.3	73.3
01:00	8.1	80.9	7.5	80.6	7.9	83.7	10.5	87.7	18.8	89.8	7.7	79.8	8.3	73.4
02:00	8.4	81.5	7.5	80.9	7.8	83.8	10.9	86.8	18.2	89.8	7.7	79.6	8.2	73.4
03:00	8.4	81.5	7.3	80.4	7.8	83.7	11.0	85.1	17.7	89.8	7.7	79.5	8.2	73.4
04:00	8.2	81.5	7.1	80.1	7.8	83.6	10.6	84.2	17.3	89.8	7.4	79.0	8.1	73.6
05:00	7.8	80.8	7.0	80.3	7.5	83.8	9.8	85.6	16.8	89.7	7.2	79.3	7.9	73.9
06:00	7.8	81.6	7.0	80.5	7.4	83.7	9.9	87.6	16.5	89.5	7.2	79.7	7.9	74.0
07:00	8.0	82.2	7.0	81.0	7.4	83.8	10.1	86.7	16.1	89.5	7.2	79.8	7.8	73.9
08:00	8.4	82.9	7.7	82.0	7.7	84.1	10.5	70.1	15.5	89.5	7.9	80.1	8.0	73.5
09:00	10.2	81.4	8.3	81.5	8.2	84.2	13.0	70.8	15.5	89.5	8.8	80.7	8.8	73.0
10:00	12.8	81.1	9.6	83.4	9.6	84.1	13.1	76.9	15.8	89.5	9.9	82.8	9.5	70.8
11:00	15.2	43.6	11.8	59.9	12.8	85.4	12.2	86.9	16.5	89.2	11.4	88.4	11.9	65.3
12:00	14.8	37.8	11.1	60.3	13.5	83.5	12.2	43.6	15.2	89.7	11.4	87.1	13.7	45.8
13:00	16.4	34.1	13.2	42.1	15.6	49.5	15.2	41.5	15.1	91.3	13.1	43.2	16.3	38.2
14:00	16.6	31.5	12.5	40.1	12.9	43.9	14.5	47.5	14.4	90.6	13.0	40.5	14.2	37.3
15:00	16.9	28.9	12.0	37.3	13.0	59.8	11.1	38.5	14.3	88.8	12.3	38.9	14.4	33.8
16:00	11.7	33.0	10.2	39.6	11.3	72.7	10.2	40.2	13.8	84.5	10.0	40.7	11.8	38.0
17:00	9.2	32.7	8.4	38.7	8.9	75.1	9.5	37.4	13.0	91.8	8.2	41.1	9.7	35.2
18:00	7.5	29.3	7.3	33.0	8.9	74.7	7.8	31.9	12.1	79.3	7.0	34.7	8.2	31.8
19:00	6.1	28.3	6.3	32.8	7.9	78.3	6.9	31.8	11.4	77.5	5.9	34.4	6.7	31.7
20:00	4.8	30.0	5.4	32.8	7.0	78.8	6.4	31.4	10.8	78.4	5.0	35.5	5.8	32.2
21:00	4.2	32.1	4.8	34.9	6.4	81.8	5.8	34.1	10.2	77.4	4.3	39.2	4.8	34.7
22:00	4.3	34.7	4.7	39.0	6.2	84.0	5.6	38.5	9.9	78.9	4.1	42.5	4.4	38.8
23:00	3.7	42.5	4.3	45.4	5.9	87.2	5.3	45.6	9.5	81.5	3.8	49.7	4.1	45.0
AVERAGE	9.5	55.7	8.2	59.5	9.1	81.7	9.8	52.6	14.8	91.4	8.2	80.1	9.0	54.6
MIN	3.7	28.6	4.3	32.6	5.9	43.9	5.3	31.4	9.6	78.4	3.8	34.4	4.1	31.8
MAX	16.9	82.9	13.2	83.4	15.6	94.2	12.8	76.6	19.8	99.8	13.1	82.8	16.3	74.0

[그림 3.231] 개선전 자료sheet 양식

TIME	LAMP				FAN				BIO					
	ON (Hour)	ON (Minute)	OFF (Hour)	OFF (Minute)	AUTO TEMP (°C)	TEMP MAX (°C)	INV MIN (%)	INV MAX (%)	AUTO SPEED (%)	MAN SPEED (%)	SET ON (Minute)	SET OFF (Minute)	ON (Minute)	OFF
00:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	76.8	100.0	2.0	1.0	0.0	
01:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	72.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
02:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	64.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
03:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	60.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
04:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	64.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
05:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	64.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
06:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	72.3	100.0	2.0	1.0	0.0	
07:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	64.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
08:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	72.3	100.0	2.0	1.0	0.0	
09:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	84.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
10:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
11:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
12:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
13:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	64.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
14:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	72.3	100.0	2.0	1.0	0.0	
15:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	64.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
16:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	72.3	100.0	2.0	1.0	0.0	
17:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	84.5	100.0	2.0	1.0	0.0	
18:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
19:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
20:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
21:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
22:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
23:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
24:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
25:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
26:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
27:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	100.0	100.0	2.0	1.0	0.0	
28:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	88.3	100.0	2.0	1.0	0.0	
29:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	80.3	100.0	2.0	1.0	0.0	
30:00	6.0	30.0	18.0	0.0	28.0	2.0	20.0	100.0	76.8	100.0	2.0	1.0	0.0	

[그림 3.232] 개선후 자료sheet 양식

## 2. Sensor

가. ICT시스템 운용의 기본요소는 감응기(sensor)이다. 이 감응기를 통해서 설정(최적)과 현재의 온습도를 감지하여 차(差)를 보정해나가기 때문이다. 온도, 습도, 암모니아 등 감응기 등이 실험 중에 제대로 작동되지 않아 교체하기도 하였다. 감응기는 감응도나 지속성이 중요한 데 국산은 이를 감당하지 못하였다. 특히 암모니아센서는 말할 것도 없거니와 온습도 센서도 안정적이지 못하였다. 이는 과습(過濕)한 사육실 상태로 감응기에 영향을 주거나, 돼지 접촉이나 작업인 부주의로 인하여 감응기를 건드리면서 채 2~3개월도 되지 않아 교체하였다, 이중 어떤 센서가 문제가 발생하더라도 이는 사육환경제어에 직접적인 영향을 주기 때문에 센서의 감도와 내구성 문제가 중요하다. 센서의 문제로 환기들에 문제유발을 사전에 차단하기 위하여 센서문제가 있을 때 이를 즉각 대체할 수 있도록 spare를 유지하거나 ICT시스템을 자동에서 수동(on-off) 전환가동하는 가변 ICT시스템으로 전환하는 것이 필요하다.



[그림 3.233] 온습도 센서의 작동문제점



[그림 3.234] 사육실 중앙에 배치한 센서

나. 본 연구 ICT시스템 sensor가 주로 고온다습한 사육실 중앙에 위치([그림 3.234])하다보니 센서의 안정성문제가 대두된다.

다. 센서의 안정성 때문에 사육실 중앙에 설치하는 것이 문제가 되나 온습도의 대표적, 정확한 측정을 위해서는 중앙지점이 가장 바람직하다. 그러므로 센서를 보호할 수 있는 보호대를 설치하는 것이 바람직하다.

라. 센서 내구성에 관하여 또 다른 문제점은 사육실 습도가 증가하면 암모니아 센서의 감도



가 떨어진다. 그래서 빈번한 보정(calibration)이 필요하다. 물론 온도와 습도도 마찬가지로. 감응환경이 좋지 않은 돈사용(고온다습) 센서개발이 필요하다.

### 3. 복합hardware배치 PLC

가. PLC는 제어기기(hardware)와 직결되는 PLC 논리체(論理體)는 매우 중요하다. 사람의 머리에 해당하기 때문이다. 제어기로는 각종 가동펌프, 환기팬 등을 말한다. 본 연구에서는 A, B, C 모형돈사는 하나의 PLC로서 제어하였다. 환경제어에 가장 중요한 요인 중 하나는 환기시스템으로 환기팬에 제어된다. 그러므로 미래 PLC에 의한 사육실내 여러 요인, 즉, 온도, 습도, 암모니아, 미세 먼지 등 복합적 제어논리개발이 필요하다. 이는 팬뿐만 아니라 가온(加溫)-냉각(冷却), 가습(加濕)-감습(減濕), 탈취(脫臭)-부유세균-부유먼지 저감 등이 고려되어야 미래 무창돈사의 환경제어 정밀도를 제고(提高)할 수 있을 것이다.

### 4. 바이오필터 재순환수율

가. 각 돈사 바이오 필터(BF)의 순환수는 각 돈슬러리 수처리공정 처리수를 사용한다. 이 처리수를 BF에 dripping water로 1.5개월 동안 반복 사용한다. 물론 증발, 순환허실수로 월 10~15% 자연발생적 감소가 일어난다. 그러므로 본 연구에서는 순환수조 수위와 자동 인입제어장치를 지속적으로 순환수의 수위를 모니터링, 하는 것이 필요하다.

### 5. 피트 슬러리과부하와 피트 환기

가. 돈사 A, B 피트 여유공간에 피트악취를 제거하기 위하여 배기(排氣)덕트와 악취저감 BF와 연결되어 있다. 만약에 피트에 돈슬러리가 과다하게 반입되어 피트 환기덕트에 역류(逆流)되면 배기팬까지 불능될 수 있다. 이때 팬에 연결된 전기회로에 단락(短絡)현상이 생길 수 있으며 전체 환기시스템이 작동되지 않을 수도 있다. 이 때 수리비용이 크다. 이런 문제 발생이 예상되면, 배기팬을 바이오필터 뒤에 설치하여 음압을 활용함으로써 예방할 수 있다. 이는 바이오필터 통과하는 공기가 사육실온도와 같으므로 미생물 활성을 유지하는 장점이 있다.

## 7. 통합결론

- 본 연구 개발한 ICT-BF (바이오필터)시스템은 돼지 복지 요구 사항에 맞게 돈사내의 적정 환경을 조성하고자 개발되었다. 외부 환경 조건의 변화는 돈사 내에 부정적인 환경적 영향을 최소화할 수 있음을 확인하였다. 기본적으로 돈사-바이오 필터 중별, A-VBF, B-HBF, C-HyBF 실험결과, 개발 BF의 악취저감 효율은 우수(優秀)하였다. 실험오차나 설계착오를 제외하고는 전 실험기간 악취저감 100%에 이르러 이를 산업화를 적극 검토할 필요가 있다. 다만 바이오필터시스템 설치로 인한 면적이 사육면적 점유를 최소화는 검토할 사항이다.
- 본 연구에서는 2차년도 1차, 3차년도, 2, 3차 등 2년에 걸쳐 3차례 돈사중별-바닥시스템중별-바이오필터 중별에 대하여 실증실험을 수행하였다. 온,습도 분석 뿐만 아니라 암모니아, 황화수소, VOA악취(VFA, Phenolic, Sulfuric oder), 부유세균, 부유먼지, 돈슬러리 처리수의 이화학적 특성 (재순환수로서 사용), 재순환수의 이화학적 특성, 부유세균, 소음수준, 돼지 생산성, 경제성분석, 상사율 분석 등을 거의 전분야에 대하여 실험분석 하여 자세히 서술하였다.
- 또한 이와는 별도로 3차년도 바닥재 중(플라스틱천공바닥재/툽밥갈개)에 따른, 미생물제제 중(일반/농축)에 따른, 급이사료 중(N/I 사료) 등의 측면에서 돈사중별-바닥시스템중별-바이오필터 중별에 대하여 또 다른 측면에서 본 연구의 목적을 분석하도록 서술하였다.

## 2-2. 연구개발 성과

○ 본 과제는 실증돈사 실험을 바탕으로 우리나라 양돈약취 저감에 관한 연구를 수행하고, 개발된 바이오필터 시스템의 제품화 및 사업화를 최종목표로 함. 과제의 사업화 지표는 특허출원 5건과 기술실시 1건, 기술이전 1건, 제품화 2건 그리고 고용창출 3인에 해당함. 1차년도(2016)에 2건의 특허출원을 하였으며 그중 1건이 특허등록(‘돈사 환기장치’ 특허제 101884323) 완료 되었으며, 2차년도(2017)에 3건의 특허출원을 마쳤음. 또한 기술이전(‘약취 제거용 바이오필터 시스템’) 1건을 완료하였으며, 제품화 2건을 통해 신규 매출을 창출하였고 고용창출 계획은 없었으나 인력 양성과 관련한 전문가 재교육을 통해 신규인력 6인을 채용하였음. 연구기반 지표는 2건의 학술지에 등재(SCI 1건 비SCI 1건) 하였고 연구관련 신규인력에 대한 전문가 심화교육을 통해 신규 연구원을 채용 하였으며 연구내용을 바탕으로 바이오필터 내의 미생물 중에 대한 연구와 바이오필터의 효율을 극대화하기 위한 돈사 내부의 환기박스에 대한 연구에 활용하였음.

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10	10		10	10	10	10		10			10	10			10				
최종목표	5	5		4	75	2	712		6			2	1			3				
1차 년 도	목표	2	0		0	0	0		0			1	0			0				
	실적	2	0		0	0	0		0			0	0			0				
2차 년 도	목표	3	0		1	5	0	12	0			1	1			0				
	실적	3	0		1	5.5	0	12	2			1	1			0				
3차 년 도	목표	0	2		1	70	2	700	0			1	0			3				
	실적	0	1		0	0	2	700	4			0	0			3				
합 계	목표	5	5		4	75	2	712	6			2	1			3				
	실적	5	1		1	5.5	2	712	6			1	1			3				

## 2-3. 연구결과

### ○ 정량적/정성적 목표 및 결과

구분		연차별 목표		
		1차년 (4개월)	2차년 (12개월)	3차년 (12개월)
축산악취 저감 시스템 한국화 (DASO)	hardware 적 축산악취 저감시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존돈사 pit remodelling</li> <li>BioFilter 제작</li> <li>기선발된 실내악취저감용 미생물 대량증식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>remodelled 피트돈사 시운전</li> <li>재순환수를 위한 액비 제조시스템</li> <li>hardware적 악취희석 위한 시스템 실증 실험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BF시스템정밀 설계 및 표준화</li> </ul>
	기술력비교	해당없음	80%+a (하반기)	100%+a
	정량적 악취저감	해당없음	물리적, 생물학적 악취저감 BF 제작 및 시계별 실증실험 결과 분석 (배기악취농도 NH <sub>3</sub> ≤3.0ppm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>배기악취농도 NH<sub>3</sub> ≤1.0ppm</li> </ul>
	기술력비교	해당없음	80% (하반기)	100%
ICT기술 적용		BF 제어 변수 선발 및 이의 감응센서 및 BF ICT 설계	BF ICT 및 돈사 악취환경 제어 통합제어 설계 및 적용 및 시계별 실증실험	① 바이오필터 자동제어 및 Monitoring ② 돈사내 악취 환경 제어 및 Monitoring ①&② 상호 연계 제어 및 monitoring - BF-ICT 통합 Logic 표준화
기술력비교		해당없음	80%+a	100%+a

○ 사업화 성과 및 매출 실적

- 사업화성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	7억원
			향후 3년간 매출	200억원
		관련제품	개발후 현재까지	5억원
			향후 3년간 매출	142억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 1% 국외 : 0%
			향후 3년간 매출	국내 : 14% 국외 : 7%
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 1% 국외 : 0%
			향후 3년간 매출	국내 : 14% 국외 : 7%
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		20위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		7위

- 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		5		
	소요예산(백만원)		1,200		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			12	342	612
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	1	14	25
		국외	0	7	12
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		- AI 기능을 탑재한 바이오필터 시스템 개발. - 악취제거를 위한 형질전환 미생물 개발. - 축사 환기를 위한 환기 닥트개발.			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	1	200	375	
	수 출	0	142	243	

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2016)  2차 년도 (2017)	돈사유래 발생악취 저감을 위한 ICT기반 우리나라형 바이오필터(BF) 시스템 개발	ICT기반 우리나라형 바이오필터 개발 및 피트돈사 시설구축 착수(리모델링)	우리나라 BF의 제조회사 및 BF시장실태조사 및 개발방향 설정, 해외 BF실태 문헌조사	우리나라 양돈산업의 경향(규모화, 집약화, 민원고충)을 고려한 개발방향 설정완료
			핵심기술인 공기조화 chamber와 BF 의 이론배경 및 설계, 제작	쿨링패드를 활용한 공기조화시스템, 두 가지 유형의 BF 설계, 환기량 등 이론적 수치산정, 현장돈사 리모델링을 통한 설계 완료 및 제작
			핵심기술 적용위한 실증 실험돈사 리모델링 (음압식 돈사피트 개보수)	공조기와 바이오필터와 연계하여 비희석식 환기위한 돈사피트 개보수
			각 요소기술 ICT기반 directory 구축(착수)	설계도면 중심으로 ICT적용방향 설정
			개발기술 특허 출원준비	개발기술 출원5건 완료

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2차 년도 (2017)	돈사유래 발생악취 저감을 위한 ICT기반 우리나라형 바이오필터(BF) 시스템 개발	개발 BF시스템 성능평가 및 실증실험	공기조화 chamber 현장설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 쿨링패드 2식 설치완료</li> <li>▪ 공기조화 챔버 2동 설치완료</li> <li>▪ 보온등 2기 설치완료</li> <li>▪ 온·습도 센서 설치완료</li> <li>▪ ICT 시스템 연결완료</li> </ul>
			바이오필터 현장설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 바이오필터 2식 설치완료 (수직형 1식, 수평형 1식)</li> <li>▪ 암모니아 센서 설치완료</li> <li>▪ ICT 시스템 연결완료</li> </ul>
			환기시스템 (일반+피트) 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 환기시스템 1기 설치완료(일반형 배기)</li> <li>▪ 환기시스템 1기 설치완료(피트형 배기)</li> </ul>
			음압식 돈사피트 개보수	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 음압식 돈사피트 개보수 완료</li> </ul>
			순환수 시스템 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 재순환수를 위한 액비제조 시스템 1식 설치 완료</li> </ul>
			ICT 시스템 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 돈사외부 온·습도 모니터링</li> <li>▪ 돈사내부 온·습도, 암모니아 모니터링</li> <li>▪ 돈사외부 암모니아 모니터링</li> <li>▪ 환기제어</li> <li>▪ 공조기 제어</li> <li>▪ 재순환수 액비제조 시스템 제어</li> </ul>
			전체 바이오필터 시스템 구성완료	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 실험돈사 2동에 바이오필터 시스템 구성 완료</li> </ul>
실증 BF시스템 성능평가 및 실험 (측정센서 선발, 환경 및 BF 모니터링 기술개발, 운영 시뮬레이션 통한 시나리오 개발 포함)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Remodelled 피트돈사 시운전 완료</li> <li>▪ Hardware적 악취희석 위한 시스템 실증 실험완료</li> <li>▪ 물리적, 생물학적 악취저감 BF 제작 및 시계별 실증실험 결과 분석: 배기악취농도 NH<sub>3</sub> ≤3.0 ppm 만족</li> <li>▪ BF ICT 및 돈사 악취환경 제어 통합제어 설계 및 적용, 시계별 실증실험 완료</li> </ul>			

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
3차 년도 (2018)	돈사유래 발생악취 저감을 위한 ICT기반 우리나라형 바이오필터(BF) 시스템 개발	사양특성에 따른 3종 모형돈사 (환기+악취저 감 BF) 시스템 성능평가 및 실증실험 & 사양특성에 따른 시스템 선발 및 이의 표준화	희석식 VBF 모형돈사 실증실험(2nd term)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 공조실 및 BF실 cooling pad 설치완료</li> <li>▪ VBF(Vertical BioFilter) 설계 및 제작</li> <li>▪ 공조실, 사육실 온·습도 센서 설치완료</li> <li>▪ 사육실 &amp; BF실 암모니아sensor설치, data logging system 설치</li> </ul>
			비희석식 HBF (Horizontal BioFilter) 모형돈사 실증실험(2nd term)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 공조실 및 BF실 cooling pad 설치완료</li> <li>▪ HBF(Horizontall BioFilter) 설계 및 제작</li> <li>▪ 공조실, 사육실 온·습도 센서 설치완료</li> <li>▪ 사육실 &amp; BF실 암모니아sensor설치, data logging system 설치</li> </ul>
			희석식 VBF(Vertical BioFilter) 모형돈사 실증실험(1st term)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 미래복지형 돈사정립</li> <li>▪ 공조실 및 BF실 cooling pad 설치</li> <li>▪ HBF(Hertical Hybrid BioFilter) 설계 및 제작</li> <li>▪ 4 layer hybrid filter (= 1<sup>st</sup> Microbes inoculated filter + 2<sup>nd</sup>~4<sup>th</sup> (Gypsum + BioChar) 설계, 제작 및 장착</li> <li>▪ 공조실, 사육실 온·습도 센서 설치</li> <li>▪ 사육실 &amp; BF실 암모니아sensor설치, data logging system 설치</li> </ul>
			환기시스템의 유동 특성 실증실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 희석식, 비희석식 환기시스템의 유동 특성분석</li> </ul>
			입기(入氣)덕트 유형이 환기효율에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 입기덕트 유형이 환기효율에 미치는 영향 구명</li> </ul>
			처리수 순환 시스템 설치 및 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 악취저감용 위한 처리수 재순환를 위한 액비화시스템 설치 완료</li> <li>▪ 악취저감효율을 제고하기 위한 액비화 시스템 rearrangement</li> </ul>
			ICT 시스템 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 돈사외부 온·습도 모니터링</li> <li>▪ 돈사내부 온·습도, 암모니아 모니터링</li> <li>▪ 돈사외부 암모니아 모니터링</li> <li>▪ Sensing 요인(온도, 습도 암모니아 등) data logging 및 제어를 위한 PLC 제작 설치</li> </ul>
			모형돈사 (환기+BF)시스템 성능평가 및 실험 (추정센서 선발, 환경 및 BF 모니터링 기술개발, 운영 시뮬레이션 통한 시나리오 개발 포함)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3종 모형돈사 계절별(동, 춘, 하, 추, 동) 실증실험</li> <li>▪ 3종 모형돈사의 현장성 (환기+악취저감BF) 시스템 효율실험</li> <li>▪ 물리적, 생물학적 악취저감 BF 제작 및 시계별 실증실험 결과 분석: 배기 악취농도 NH<sub>3</sub> ≤3.0 ppm 만족여부 검증</li> <li>▪ 사육실환경, 양돈생산성 분석</li> <li>▪ 공조실, 사육실의 ICT기반 악취환경 제어 통합제어 설계 및 적용, 시계별 실증실험 및 이의 계통화</li> </ul>



### 3-2. 목표 달성여부

성과 목표	사업화지표										연구기반지								
	지식재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품 종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	10	10		10	10	10	10		10			10	10			10			
최종목표	5	5		4	75	2	712		6			2	1			3			
1차 년 도	목표	2	0		0	0	0		0			1	0			0			
	실적	2	0		0	0	0		0			0	0			0			
2차 년 도	목표	3	0		1	5	0	12	2			1	1			0			
	실적	3	0		1	5.5	0	12	2			1	1			0			
3차 년 도	목표	0	2		1	70	2	700	4			1	0			3			
	실적	0	1		0	0	2	700	4			0	0			3			
합 계	목표	5	5		4	75	2	712	6			2	1			3			
	실적	5	1		1	5.5	2	712	6			1	1			3			
달성율(%)	100	20		25	7	100	100		100			50	100			100			

### 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

- 출원된 특허는 현재 1건이 등록완료 되었고 나머지 4건은 특허청에서 검토 중임.
- 기술이전과 관련하여 등록 완료된 건이 1건이어서 이를 바탕으로 기술사용에 대한 이전을 실시하였으며 이전 받은 대상이 제주소재의 영농법인 이어서 기술이전료의 부담을 줄여 다수의 축산농가에 직접적인 도움을 주기 위해 이전 비용을 최소화 하였음.
- 연구 수행과정 중 시험돈사의 화재와 폭염 등으로 연구진행에 어려움이 있어 SCI 논문게재를 계획 데로 진행 하지 못했으며 지속적 연구를 진행 한다면 논문게재가 가능할 것으로 예상.

## 4. 연구결과의 활용 계획

### 4-1. 연구성과의 활용분야 및 활용방안

- 돼지 사육농가, 음식물 찌꺼기 처리시설, 생활폐기물 RDF시설, 폐수처리장, 분뇨처리장, 식품 가공공장 등 각종 악취 발생 시설의 악취 제거 시스템으로 응용 가능할 것으로 예상 됨.

### 4-2. 추가연구의 필요성

- 바이오필터의 효율 증대를 위한 바이오필터에 악취분해 물질을 코팅하거나 미생물 배양을 통해 처리효율을 높이는 방법에 관한 연구가 필요할 것으로 예상되며 바이오필터와 함께 차아염소산나트륨 처리나 전기분해 방법 등과 같은 악취제거 처리 방법을 접목하여 완벽한 악취제거 처리 시스템 개발을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 예상됨.

### 4-3. 타 연구에의 응용

- 바이오필터내의 미생물군에 대한 연구에 응용하고 있으며 각 지역 및 축사 환경에 따라 바이오필터내의 우점 미생물 군을 확인하며 나아가 형질전환을 통한 자원 미생물 연구에 응용하고자 함.
- 바이오필터의 효율을 극대화하기 위한 돈사내의 환기 공조 시스템 및 ICT 기반의 악취제거 및 돈사 환경 개선을 위한 연구에 응용하고자 함.

### 4-4. 기업화 추진방안

- 바이오필터 및 시스템의 양산을 위한 생산설비 구축 및 생산라인 설계를 통해 시스템 공급 단가를 줄이며 악취제거 시스템의 현장에 맞는 설치모델과 부품의 표준화를 통해 설치 후 유지관리 보수가 용이하게 하는 방안을 마련 하고자 함.
- 바이오 필터의 계량 및 업그레이드를 통해 신제품 개발이 완성 단계에 있으며 2019년도 상반기에 익산, 양주, 포천 등의 농장에 설치할 예정임.

### 4-5. 기술이전

- 해외사업 진출을 위해 일정 부분 기술 이전을 실시하며 해외 사업파트너 발굴 및 해외 선진 기술을 접목한 업그레이드된 악취제거 시스템 보완 및 개발을 하고자 함.

## 5. 참고문헌

- Almuhanna, E., Ahmed, A., Al-Yousif, Y. 2011. Effect of air contaminants on poultry immunological and production performance. *International Journal of Poultry Science*, **10**(6), 461-470.
- APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; 9th ed.; American Public Health Association: Washington, DC,.
- Banhazi, T., Seedorf, J., Rutley, D.L., Pitchford, W.S. 2008. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 1. Study justification and design. *Journal of Agricultural Safety and Health*, **14**(1), 5-20.
- Baumgard, L., Rhoads, R. 2012. Ruminant Nutrition Symposium: ruminant production and metabolic responses to heat stress. *Journal of animal science*, **90**(6), 1855-1865.
- Beker, A., Vanhooser, S., Swartzlander, J., Teeter, R. 2004. Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance. *The Journal of Applied Poultry Research*, **13**(1), 5-9.
- Blanes-Vidal, V., Hansen, M.N., Pedersen, S., Rom, H.B., 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: effects of rooting material animal activity and ventilation flow. *Agric. Ecosyst. Environ.* **124**, 237 - 244.
- Bremner, J. M.; Sparks, D. L.; Page, A. L.; Helmke, P. A.; Leoppert, R. H.; Soltanpour, P. N.; Tabatabai, M. A.; Johnston, C. T.; Sumner, M. E. 1996. *Nitrogen-total*. In: *Methods of soil analysis, part 3*; Bigham, J. M., Ed.; Chemical Methods, SSSA Book series 5, ASA, Madison, WI.
- Bustamante, M. A.; Paredes, C.; Marhuenda-Egea, F. C.; Pérez-Espinosa, A.; Bernal, M. P.; Moral, R. 2008. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere*. **72**, 551 - 557, doi:10.1016/j.chemosphere.2008.03.030.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CmE) 2005. *CmE Guidelines for Compost Quality*; CmE: Ottawa, ON, Canada, ISBN ISBN 1-896997-60-0.
- Carpenter, G. 1986. Dust in livestock buildings—review of some aspects. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **33**(4), 227-241.
- CIGR. (2002). 4th report of working group on climatization of animal houses: heat and moisture production at animal and house levels. Paper presented at the International commission of agricultural engineering, section II, Research centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Close, W. 1987. The influence of the thermal environment on the productivity of pigs. *Brit Soc Anim Prod*, **11**, 9-24.
- Close, W., Heavens, R., Brown, D. 1981. The effects of ambient temperature and air movement on heat loss from the pig. *Animal production*, **32**(01), 75-84.

- Cupr P; Skarek M; Bartos T; Ciganek M; Holoubek I (2005). Assessment of human health risk due to inhalation exposure in cattle and pig farms in south Moravia. *Acta Veterinaria Brno*, 74(2), 305 - 312.
- Du, S.; Chen, X.; Hou, M. 2017. Study on the desalination process and improvement effect of FGD-gypsum improving coastal saline-soil. In *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*; IOP Publishing, Bristol, UK, Vol. 59, pp. 1 - 7.
- Gao, M.; Li, B.; Yu, A.; Liang, F.; Yang, L.; Sun, Y. 2010. The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. *Bioresour. Technol.* 101, 1899 - 1903, doi:10.1016/j.biortech.2009.10.027.
- Guo, X.; Lu, Y.; Li, Q. 2016 Effect of adding flue gas desulphurization gypsum on the transformation and fate of nitrogen during composting. *Compost Sci. Util.*, 24, 230 - 237, doi:10.1080/1065657X.2015.1135767.
- Guo, X.; Huang, J.; Lu, Y.; Shan, G.; Li, Q. 2016b. The influence of flue gas desulphurization gypsum additive on characteristics and evolution of humic substance during co-composting of dairy manure and sugarcane pressmud. *Bioresour. Technol.*, 219, 169 - 174, doi:10.1016/j.biortech.2016.07.125.
- Gustafsson, G. 1999. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(4), 379-390.
- Hammond, E.G., Fedler, C., Smith, R. 1981. Analysis of particle-borne swine house odors. *Agriculture and environment*, 6(4), 395-401.
- Hinz, T. 2007. Particulate matter in and from agriculture.
- Homidan, A., Robertson, J., Petchey, A. 2003. Review of the effect of ammonia and dust concentrations on broiler performance. *World's Poultry Science Journal*, 59(03), 340-349.
- Hong, J.H., Park, K.J., Choi, W.C., 2002. Biofiltration for ammonia removal from dairy manure composting. In: Michel Jr., F.C., Rynk, R.F., Hoitink, H.A.J. (Eds.), *Proceedings of the 2002 International Symposium Composting and Compost Utilization*, May 6, 2002, Columbus, OH, USA.
- Huang, X.-D.; Xue, D. 2014. Effects of bamboo biochar addition on temperature rising, dehydration and nitrogen loss during pig manure composting. *Chinese J. Appl. Ecol.*, 25, 1057 - 1062.
- Janni, K.A., Nicolai, R., 2000. Designing biofilters for livestock facilities. In: *Livestock and Poultry Odor Workshop II*. Department of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, St. Paul, MN, USA.
- Jeong, Y. K.; Kim, J. S. 2001. A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes. *Bioresour. Technol.* 79, 129 - 133, doi:10.1016/S0960-8524(01)00062-1.
- Jiang, T.; Schuchardt, F.; Li, G.; Guo, R.; Zhao, Y. 2011. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. *J. Environ. Sci.* 23, 1754 - 1760, doi:10.1016/S1001-0742(10)60591-8.

- Jindo, K.; Suto, K.; Matsumoto, K.; García, C.; Sonoki, T.; Sanchez-Monedero, M. A. 2012. Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresour. Technol.*, *110*, 396 - 404, doi:10.1016/j.biortech.2012.01.120.
- Kim, K.Y., Jong Ko, H., Tae Kim, H., Shin Kim, Y., Man Roh, Y., Min Lee, C., Nyon Kim, C. 2008. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of environmental management*, **88**(2), 195-202.
- Khan, N.; Clark, I.; Sánchez-Monedero, M. a.; Shea, S.; Meier, S.; Bolan, N. 2014. Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. *Bioresour. Technol.* *168*, 245 - 251, doi:10.1016/j.biortech.2014.02.123.
- Koerkamp PWG; Metz J H M; Uenk G H; Phillips V R; Holden M R; Sneath R W; Short J L; White R P; Hartung J; Seedorf J; Schroder M; Linkert K H; Pedersen S; Takai H; Johnsen J O; Wathes C M (1998). Concentration and emission of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *70*(1), 79 - 95.
- Koenig, R. T.; Palmer, M. D.; Miner, F. D.; Miller, B. E.; Harrison, J. D. 2005. Chemical Amendments and Process Controls To Reduce Ammonia Volatilization During In-House Composting. *Compost Sci. Util.* *13*, 141 - 149, doi:10.1080/1065657X.2005.10702231.
- Lee, C., Giles, L., Bryden, W., Downing, J., Owens, P.C., Kirby, A., Wynn, P. 2005. Performance and endocrine responses of group housed weaner pigs exposed to the air quality of a commercial environment. *Livestock Production Science*, **93**(3), 255-262.
- Liu, W.; Huo, R.; Xu, J.; Liang, S.; Li, J.; Zhao, T.; Wang, 2017. S. Effects of biochar on nitrogen transformation and heavy metals in sludge composting. *Bioresour. Technol.* *235*, 43 - 49, doi:10.1016/j.biortech.2017.03.052.
- López-Cano, I.; Roig, A.; Cayuela, M. L.; Alburquerque, J. A.; Sánchez-Monedero, M. A. 2016. Biochar improves N cycling during composting of olive mill wastes and sheep manure. *Waste Manag.* *49*, 553 - 559, doi:10.1016/j.wasman.2015.12.031.
- Mandal, S.; Thangarajan, R.; Bolan, N. S.; Sarkar, B.; Khan, N.; Ok, Y. S.; Naidu, R. 2016. Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat. *Chemosphere* *142*, 120 - 127, doi:10.1016/j.chemosphere.2015.04.086.
- Minton, J.E. 1994. Function of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *Journal of animal science*, **72**(7), 1891-1898.
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods*; Sparks, D. L., Ed.; Madison: SSSA Book Ser.5., pp. 961 - 1010.
- Ni, J. (1999). Mechanistic models of ammonia release from liquid manure: a review.

- Journal of Agricultural Engineering Research, 72(1), 1e17.
- Owens, P.C., Gatford, K.L., Walton, P., Morley, W., Campbell, R.G. 1999. The relationship between endogenous insulin-like growth factors and growth in pigs. *Journal of Animal Science*, **77**(8), 2098–2103.
- Pagans, E.; Barrena, R.; Font, X.; Sánchez, A. 2006. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere* 62, 1534 - 1542, doi:10.1016/j.chemosphere.2005.06.044.
- Park, K.J. and Hong, J.H. 2005. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. *Bioresource Technology* 96 741–745.
- Pearson, C., Sharples, T. 1995. Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **60**(3), 145–154.
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. [Review]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 141(3–4), 245–260. doi: 10.1016/j.agee.2011.03.012
- Pohl, S. H., & Hellickson, M. A. (1978). Model study of 5 types of manure pit ventilation systems. *Transactions of the ASAE*, 21(3), 542–549.
- Ren, L.; Schuchardt, F.; Shen, Y.; Li, G.; Li, C. 2010. Impact of struvite crystallization on nitrogen losses during composting of pig manure and cornstalk. *Waste Manag.* 30, 885 - 892, doi:10.1016/j.wasman.2009.08.006.
- Renaudeau, D., Gourdine, J.-L., St-Pierre, N. 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, **89**(7), 2220–2230.
- Ross, J., Hale, B., Gabler, N., Rhoads, R., Keating, A., Baumgard, L. 2015. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, **55**(12), 1381–1390.
- Saha, C. K., Zhang, G., Kai, P., & Bjerg, B. (2010). Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. *Biosystems Engineering*, 105(3), 279e287.
- Schomberg, H. H.; Gaskin, J. W.; Harris, K.; Das, K. C.; Novak, J. M.; Busscher, W. J.; Watts, D. W.; Woodroof, R. H.; Lima, I. M.; Ahmedna, M.; Rehrah, D.; Xing, B. 2012. Influence of Biochar on Nitrogen Fractions in a Coastal Plain Soil. *J. Environ. Qual.* 41, 1087 - 1095, doi:10.2134/jeq2011.0133.
- Scott, S.L., Christopherson, R.J., Thompson, J.R., Baracos, V.E. 1993. The effect of a cold environment on protein and energy metabolism in calves. *British journal of nutrition*, **69**(01), 127–139.
- Takai, H., Pedersen, S., Johnsen, J.O., Metz, J., Groot Koerkamp, P., Uenk, G., Phillips, V., Holden, M., Sneath, R., Short, J. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **70**(1), 59–77.
- Tan, Z., Zhang, Y. 2004. A review of effects and control methods of particulate matter

- in animal indoor environments. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **54**(7), 845–854.
- Tiquia, S. M.; Wan, H. C.; Tam, N. F. Y. 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost Sci. Util.* **10**, 150 - 161, doi:10.1080/1065657X.2002.10702075.
- Tiquia, S. M.; Tam, N. F. Y. 2000. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environ. Pollut.* **110**, 535 - 541, doi:10.1016/S0269-7491(99)00319-X.
- Thompson, W. H.; Millner, P. D.; Watson, M. E.; Leege, P. B. 2002. *Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC)*; USCC (United States Composting Council), Holbrook, NY, USA.
- Tubail, K.; Chen, L.; Michel, F. C.; Keener, H. M.; Rigot, J. F.; Klingman, M.; Kost, D.; Dick, W. a. 2008. Gypsum Additions Reduce Ammonia Nitrogen Losses During Composting of Dairy Manure and Biosolids. *Compost Sci. Util.*, **16**, 285 - 293, doi:10.1080/1065657X.2008.10702390.
- Vandecasteele, B.; Sinicco, T.; D'Hose, T.; Vanden Nest, T.; Mondini, C. 2016. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. *J. Environ. Manage.* **168**, 200 - 209, doi:10.1016/j.jenvman.2015.11.045.
- Wang, Y., Huang, M., Meng, Q. 2011. Effects of atmospheric hydrogen sulfide concentration on growth and meat quality in broiler chickens. *Poultry science*, **90**(11), 2409–2414.
- Wathes, C.M., Charles, D. 1994. *Livestock housing*. CAB international.
- Yahav, S. 2000. Relative humidity at moderate ambient temperatures: its effect on male broiler chickens and turkeys. *British poultry science*, **41**(1), 94–100.
- Yahav, S., Goldfeld, S., Plavnik, I., Hurwitz, S. 1995. Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. *Journal of Thermal Biology*, **20**(3), 245–253.
- Zhang G; Bjerg B; Strom J S; Morsing S; Kai P; Tong G; Ravn P (2008). Emission effects of three different ventilation control strategies - A scale model study. *Biosystems Engineering*, **100**(1), 96 - 104.
- Zhao, Y., Aarnink, A.J.A., de Jong, M.C.M., Ogink, N.W.M., Koerkamp, P., 2011. Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Trans. ASABE* **54**, 285 - 293.
- Zong, C., Feng, Y., Zhang, G., & Hansen, M. J. (2014). Effects of different air inlets on indoor air quality and ammonia emission from two experimental fattening pig rooms with partial pit ventilation system - Summer condition. *Biosystems Engineering*, **122**(0), 163–173. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.04.005>
- Zong, C., (2014). Precision Zone Ventilation Design and Application in Pig Housing. PhD Thesis, Aarhus University Department of Engineering, Denmark

주 의

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