

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001202-01

공기감염성 가축질병 예방을 위한 축사환경
맞춤형 공기정화기 개발 및 실증평가
(농림기술개발사업)

(Development and application of air cleaner
fitted to livestock environment for preventing
air-infected livestock disease)

환경 및 산업의학연구소
(한양대학교 산학협력단)

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “공기감염성 가축질병 예방을 위한 축사 환경 맞춤형 공기정화기 개발 및 실증평가” 과제의 보고서로 제출합니다.

2011년 12월 19일

주관연구기관명 : 한양대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김 기 연

세부연구책임자 : 김 기 연

연 구 원 : 한 수 환

연 구 원 : 황 건 순

연 구 보 조 원 : 권 호 진

연 구 보 조 원 : 이 승 진

연 구 보 조 원 : 이 현 진

연 구 보 조 원 : 정 진

연 구 보 조 원 : 최 민 숙

요 약 문

I. 제 목

공기감염성 가축질병 예방을 위한 축사 환경 맞춤형 공기정화기 개발 및 실증평가

II. 연구개발의 필요성 및 목적

1. 연구개발의 필요성

- 돈사와 계사의 대규모화 & 밀폐화
 - ▶ 공기오염물질의 축사 내부의 집적화 초래
- 축사 실내 공기오염물질에 대한 가축의 과다 노출
 - ▶ 공기감염성 가축질병 유발 초래 : 4P 소모성 질환, 구제역, 조류독감
- 축사 실내 공기오염물질 저감과 관련한 기존의 국내 연구 방향
 - ▶ 환경개선제나 사료첨가제 연구 중심으로 대부분 수행
 - ☞ 현장 실증 평가에 기반을 둔 개선 효과의 미비
- 공학적 측면의 신개념 제어 기술의 요구
 - ▶ 공기정화기의 축사 적용 방안에 대한 정립 필요성 제기

2. 연구개발의 목적

- Plasma에 의해 발생하는 HOO^- 라디칼 이온을 이용한 돈사 환경 맞춤형 공기정화기 개발
- 공기감염성 돼지 질병 유발 요인 저감을 위한 공기정화기의 돈사 현장 실증 평가
- 공기정화기에 의한 돈사 내 공기오염물질 저감에 따른 돼지의 생산성 및 돈육의 안전성 확보

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 돼지 공기감염성 질병예방을 위한 돈사 맞춤형 공기정화기 개발 (1차년도)

- ▶ 돈사내 공기오염물질 발생 정도를 파악하기 위한 현장 조사
- ▶ 돈사내 공기오염물질 제어를 위한 공기정화기 제작 및 개발
- ▶ Chamber Test를 통한 개발된 공기정화기의 제균 능력 사전 평가

2. 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돈사내 공기오염물질 저감 효율 현장 실증평가 (2차년도)

- ▶ 돈사 현장 적용 실증 평가를 위한 공기정화기의 제작 및 설치
- ▶ 돈사 유형별/계절별 공기오염물질 저감 효율성 평가를 통한 측정 데이터의 작성

- ▶ 공기오염물질 저감 효율성 평가에 근거한 공기정화기의 운용 최적화 방안 제시

3. 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돼지의 생산성 및 안전성 향상 현장 실증평가 (3차년도)

- ▶ 공기정화기 적용에 따른 돼지의 생산성 및 돈육 품질의 안전성 평가
- ▶ 돼지의 생산성 지표 항목들과 공기오염물질들간의 상호 연관성 분석
- ▶ 비용편익 분석을 통해 공기정화기 설치 적용에 따른 양돈 농가의 경제적 이익 산출

IV. 연구개발결과

1. 돼지 공기감염성 질병예방을 위한 돈사 맞춤형 공기정화기 개발 (1차년도)

- ▶ 돈사 유형에 따른 공기오염물질 (가스상, 입자상, 생물학상)의 농도 및 발생량 산정화
- ▶ 활성수소 발생을 통한 플라즈마 이온 방식의 공기정화기 제작 및 개발 완료
- ▶ Chamber내 개별 부유 미생물 살포를 통한 공기정화기 가동/미가동에 따른 저감 효율 분석 수행

2. 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돈사내 공기오염물질 저감 효율 현장 실증평가 (2차년도)

- ▶ 평가 대상 돈사 현장에 플라즈마 이온 방식 및 수세식 필터를 접목한 공기정화기의 제작 및 설치 완료
- ▶ 돈사 유형 (임신/분만돈사, 자돈사, 육성/비육돈사) 및 계절 (봄, 여름, 가을, 겨울)에 따른 가스상 (암모니아와 황화수소), 입자상 (TSP, PM10, PM2.5, PM1), 생물학상 (부유세균과 부유진균) 공기오염물질의 저감 효율성을 대조군과 비교하여 평가
- ▶ 본 연구에서 개발된 공기정화기의 최적의 저감 효율성을 유도할 수 있는 돈사 유형 및 운용 전략 도출

3. 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돼지의 생산성 및 안전성 향상 현장 실증평가 (3차년도)

- ▶ 공기정화기가 설치된 돈사 (실험군)과 미설치된 돈사 (대조군)에서 돼지 출생에서 출하 시까지의 성장 전체 기간인 6개월 동안 0일 (분만 직후), 21일 (분만 후~이유 전), 70일 (이유 후~자돈), 140일 (자돈~육성기), 180일 (육성기~비육기)로 성장 단계별로 구분하여 돼지의 생산성 지표를 측정하여 비교
- ▶ 공기정화기가 설치된 돈사 (실험군)과 미설치된 돈사 (대조군)에서 최종 출하된 돼지들의 도체 분석 비교를 통해 돈육의 품질 안전성 평가 수행
- ▶ 돈사 현장 실증 실험을 통해 얻어진 측정 데이터를 통계적 상관분석을 통해 산출
- ▶ 돼지의 생산성 향상과 돈육의 안정성 확보에 기여하는 공기정화기의 효능 정량화

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구 성과

- 공기감염성 가축질병 유발인자인 부유미생물 제균을 위한 돈사 환경 맞춤형 공기정화기 개발
- 공기정화기의 돈사 현장 실증 평가를 통한 공기오염물질 저감 효율 측정 데이터의 구축
- 공기정화기 가동에 따른 돼지의 생산성 및 돈육의 안전성 평가 자료 확보

2. 성과 활용 계획

- 본 연구를 통해 개발된 기술의 효율성을 국내/외 학회에 발표하여 이를 다방면으로 소개
- 축산 농가 방문을 통한 현장 컨설팅 지도 및 축산업 종사자들을 대상으로 하는 친환경 실용화 교육 사업에 참여하여 본 기술의 홍보 유도
- 특허 출원을 통한 상용화 및 국내외 논문 발표를 통한 지식재산권 확보

SUMMARY (영문요약문)

I. Title

Development and application of air cleaner fitted to livestock environment for preventing air-infected livestock disease

II. Necessity and purpose of the study

1. Necessity

- Industrialization and intensification of pig building and poultry building
 - ▶ Increase of air pollutants emitted from livestock building
- Excessive exposure of animal to air pollutants in livestock building
 - ▶ Outbreak of air-infected livestock diseases : 4P disease (swine chronic wasting disease), foot and mouth disease, avian influenza
- Trend of domestic study on reduction of air pollutants in livestock building
 - ▶ Conduction of previous studies based on environmental additive or feedstuff additive
 - ☞ Little reduction effect proved by field survey
- Necessity of innovative technology in terms of engineering aspect
 - ▶ Requisition of application of air cleaner on livestock building for reducing airborne microorganism of air pollutants

2. Purpose

- Development of air cleaner, which is based on HOO^- radical ion generated by plasma, fitted to indoor environment of livestock building
- On-site assessment of air cleaner for testing its application to pig building to reduce air pollutants
- On-site evaluation of pig productivity and pork safety according to reduction of air pollutants in livestock building by application of air cleaner

III. Contents and scope of the study

1. Development of air cleaner fitted to pig building for preventing air-infected pig disease (1st year)

- ▶ Field survey for quantifying air pollutants emitted from pig building
- ▶ Design and manufacture of air cleaner for controlling air pollutants in pig building

- ▶ Preliminary evaluation of reduction effect of air cleaner on airborne microorganism by chamber test

2. On-site assessment of reduction efficiency of air cleaner developed by the first-year study on air pollutants in pig building (2nd year)

- ▶ Manufacture of prototype of air cleaner applied to the real pig building
- ▶ Evaluation of reduction efficiency of air cleaner on air pollutants according to type of pig building
- ▶ Provision of optimal operation strategy of air cleaner based on the measurement data obtained from on-site experiment

3. On-site evaluation of effect of air cleaner developed by the first-year study on pig productivity and pork safety (3rd year)

- ▶ Assessment of pig productivity and meat quality by application of air cleaner to pig building
- ▶ Analysis of association between pig productivity index and air pollutants
- ▶ Estimation of economic effect of air cleaner by cost/benefit analysis

IV. Results of the study

1. Development of air cleaner fitted to pig building for preventing air-infected pig disease (1st year)

- ▶ Quantification of concentration and emission of air pollutants (gas, particulate and microorganism) according to type of pig building
- ▶ Development of air cleaner based on generation of activated hydrogen by plasma ion
- ▶ Examination of reduction efficiency of air cleaner on airborne microorganism by chamber Test

2. On-site assessment of reduction efficiency of air cleaner developed by the first-year study on air pollutants in pig building (2nd year)

- ▶ Installation of air cleaner which is manufactured by couple of plasma and water filter to experimental pig building
- ▶ Field test of reduction efficiency of air cleaner on gaseous pollutants (ammonia and hydrogen sulfide), particulate pollutants (TSP, PM₁₀ and PM_{2.5}) and biological pollutants

(airborne bacteria and fungi) according to type of pig building (gestation/farrowing room, nursery room and growing/fattening room)

▶ Establishment of optimal operation strategy of air cleaner to effectively apply it to indoor environment of pig building

3. On-site evaluation of effect of air cleaner developed by the first-year study on pig productivity and pork safety (3rd year)

▶ Comparison of pig productivity index (body weight gain, feed conversion, pig activity index, mortality rate and stress hormone) between the treatment (w/ air cleaner) and the control (w/o air cleaner) according to pig's growth stage

▶ Test of meat quality and safety by pork analysis of pigs shipped from the treatment room and the control room

▶ Performance of statistical correlation analysis between airborne pollutants and pig productivity index

▶ Quantification of economic profit of air cleaner which contributes to improvement of pig productivity and pork meat quality

V. Achievement of the study and its application plan

1. Achievement

○ Development of air cleaner fitted to indoor environment of pig building for mainly reducing airborne microorganism to cause air-infected animal diseases

○ Establishment of on-site measurement database regarding reduction efficiency of air cleaner on air pollutants in pig building

○ Performance of safety assessment of air cleaner for pig productivity index and pork meat quality

2. Application plan

○ Open introduction of technology developed by the study through presenting it to various domestic and foreign conference

○ Public information of technology developed by the study through on-site consulting instruction by visiting livestock farm and attending education program of eco-environmental commercialization

○ Acquirement of knowledge right regarding the technology through patent application and publication of international and domestic paper

CONTENTS
(영 문 목 차)

1st Chapter Overview of the project	10
1. Necessity.....	10
2. Purpose.....	13
3. Contents and scoper.....	13
2nd Chapter Domestic and foreign situation of technology development	15
1. Domestic situation.....	15
2. Foreign situation.....	15
3. Originality of the technology.....	18
3rd Chapter Results of the project	19
1. Development of air cleaner fitted to pig building for preventing air-infected pig disease (1st year).....	19
2. On-site assessment of reduction efficiency of air cleaner developed by the first-year study on air pollutants in pig building (2nd year).....	39
3. On-site evaluation of effect of air cleaner developed by the first-year study on pig productivity and pork safety (3rd year).....	67
4th Chapter Purpose attainment and contribution of the project	86
1. Development of air cleaner fitted to pig building for preventing air-infected pig disease (1st year)	86
2. On-site assessment of reduction efficiency of air cleaner developed by the first-year study on air pollutants in pig building (2nd year)	87
3. On-site evaluation of effect of air cleaner developed by the first-year study on pig productivity and pork safety (3rd year).....	88
5th Chapter Achievement of the study and its application plan	89
6th Chapter Foreign science information obtained from the project	91
7th Chapter Reference	92

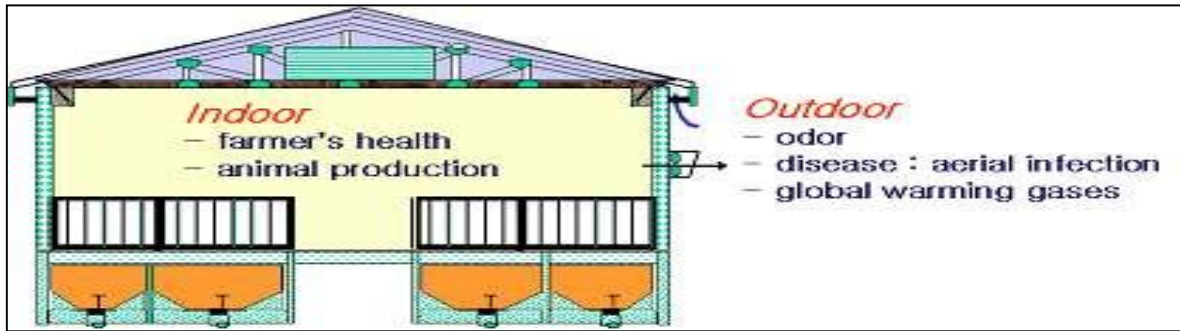
목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	10
제 1 절	연구개발의 필요성.....	10
제 2 절	연구개발의 목적.....	13
제 3 절	연구개발의 내용 및 범위.....	13
제 2 장	국내외 기술개발 현황	15
제 1 절	국내 현황.....	15
제 2 절	국외 현황.....	16
제 3 절	본 연구 개발기술의 차별성.....	19
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	20
제 1 절	돼지 공기감염성 질병예방을 위한 돈사 맞춤형 공기정화기 개발 (1차년도).....	20
제 2 절	개발된 공기정화기의 적용에 따른 돈사내 공기오염물질 저감 효율 현장 실증평가 (2차년도).....	41
제 3 절	개발된 공기정화기의 적용에 따른 돼지의 생산성 및 안전성 향상 현장 실증평가 (3차년도).....	71
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	88
제 1 절	돼지 공기감염성 질병예방을 위한 돈사 맞춤형 공기정화기 개발 (1차년도).....	88
제 2 절	개발된 공기정화기의 적용에 따른 돈사내 공기오염물질 저감 효율 현장 실증평가 (2차년도).....	89
제 3 절	개발된 공기정화기의 적용에 따른 돼지의 생산성 및 안전성 향상 현장 실증평가 (3차년도).....	90
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	91
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	93
제 7 장	참고문헌	94

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

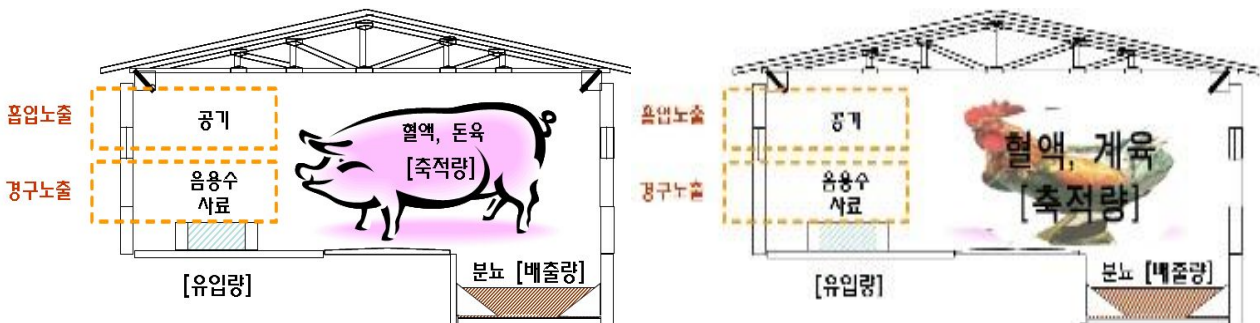
- 2010년 농림부에 따르면, 축산업 생산액은 총 112,773억원 차지
 - 가. 농림업 가운데 축산업이 차지하는 비중은 최근 3년간 2.4% 증가
 - 나. 농업으로 분류 중 축산업이 차지하는 비중은 31.5%으로 식량작물(미곡 등) 89,095억원보다 6.6%정도 비중을 더 차지한다(2007년 기준)
- 한정된 공간에서 집약적이고 기업화된 축산업의 형태로 전환
 - 가. 환경오염과 건강보건학적 문제들에 대한 관심과 규제가 국내외적으로 계속 증가
 - 나. 축산 유래 공기오염물질은 광범위한 분야에 걸쳐 발생
 - 발생원에 따라 상이한 영향을 미칠 수 있기 때문에 그에 대한 대책이 어렵고 시급한 상황



<축사에서 발생하는 공기오염물질의 환경보건 문제>

- 최근 Well-being 의식이 전세계적으로 고조화되는 추세에 편승하여 소비자들이 안전성이 입증된 무공해 농산물을 주요 식단으로 추구하는 경향이 계속 증가 추세

가. 이러한 사회적 요구에 따라 육류 식단 중 하나인 돼지와 닭의 사육을 담당하고 있는 양돈 및 양계 농가들은 경제적 측면에서 생산비 경감을 통한 돼지와 닭의 증체량 증대와 더불어 소비자들에게 보급되는 최종 돈육과 계육의 안전성을 확보해야하는 이중고에 처해 있는 상황



<돼지와 닭에게 노출되는 환경 유해물질의 이동경로 및 유입, 축적, 배출의 흐름도>

4. 암모니아, 황화수소 등의 가스상 오염물질 분진 등의 입자상 오염물질, 부유세균 및 진균 등의 생물학상 오염물질은 돼지와 닭의 생산성 및 돈육 품질 안전성에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며 그 종류 또한 매우 다양

5. 축사의 공기오염물질은 가스상, 입자상, 생물학상 형태로 구분

가스상(Gaseous)	입자상(Particulate)	생물학상(Bioaerosol)
<p>▶ 돼지와 닭에 의해 배설된 분뇨가 혐기성 미생물에 의해 분해되는 경우 주요 발생 과정이며, 돼지와 닭의 호흡 및 환기 시스템의 작동시 발생 (Chang 등, 2001).</p> <p>▶ 암모니아 (NH₃)와 황화수소 (H₂S)의 농도 및 발생량은 여타 다른 시설에 비해 상대적으로 높음.</p> <p>▶ 동절기시 최소 환기율을 적용하는 경우 돼지와 닭의 생산성을 저해할 수 있으며, 작업 노출기준을 초과하여 작업자의 체내 유해물질로 작용(Coleman 등, 1991).</p>	<p>▶ 에어로졸, 분진, 부유 입자 등</p> <p>▶ 돈사와 계사의 경우 5 μm 이하의 입자들의 수가 전체 입자 수의 70~95%를 차지 (Bundy와 Hazen, 1975).</p> <p>▶ 돈사와 계사의 작업자들은 상당한 양의 호흡성 분진에 노출 : 호흡기 질병의 발병 가능성을 내포.</p>	<p>▶ 생물학상 오염물질들은 미세분진에 흡착 : 호흡을 통해 가축이나 작업자의 폐포에 도달하여 호흡기계통의 질병을 유발 (Olson과 Bark, 1996).</p> <p>▶ 돈사와 계사내 생물학상 오염물질의 농도는 다른 실내 공간보다 상대적으로 높은 것으로 보고 (Griffiths와 Decosemo, 1994).</p>

6. 돼지 만성소모성질병(4P)과 최근 사회적으로 큰 문제가 되었던 닭의 조류독감 등의 공기감염성 질병은 불량한 사육환경, 면역력 저하, 사양관리 및 스트레스 등의 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 추정되고 있으며, 그 가운데서도 사육시설 및 환경 관리 미흡이 가장 주요한 원인으로 인식되고 있는 실정

가. 돈사와 계사의 시설 및 환경관리는 돼지와 닭의 입식에서부터 출하까지 돼지와 닭의 생리학적 반응과 질병 발생에 직·간접적으로 연관되어 있음은 익히 주지의 사실이다. 그러나 돈사와 계사내에서 발생하는 유해물질(입자상 물질, 생물학상 물질) 가운데 어떠한 물질들이 돼지의 최적 생산성에 악영향을 미치고 더 나아가 양돈경영에 큰 부담을 주고 있는 호흡기계 만성 질병을 예방하기 위한 실질적 대안은 현재 미확립

7. 가축폐사로 인한 농가 손실액 추정 (출처 : 농촌경제연구원(2006년))

가축폐사로 인한 축종별 농가 손실액 추정 (2009년 기준)

축종구분	생산액	폐사율	손해액	폐사율 근거
한육우	3조 1,479억원	1.28~5.39%	403억~1,695억원	가축통계 및 가축공제 자료활용
젖소	1조 5,831억원	2.70~6.83%	427억~1,081억원	
돼지	3조 7,586억원	18.5~31.5%	6,953억~11,840억원	
닭	8,208억원 (도계가액)	8.3%	685억원	비공식자료, 산란계제외

비고 : 한육우의 경우 송아지와 성우의 사육비중을 고려하여 평균 폐사율을 계산하였음
 농가 손실액은 생산액 기준으로 계산하였기 때문에 생산비 기준으로 계산할 때 보다는
 파대 계상되는 측면이 있음

8. 현재까지 축사내 공기오염물질을 제어하기 위한 저감방법들

가. 악취 성분의 가스상 오염물질과 분진 등의 입자상 오염물질을 강구하기 위한 연구들이 주
 로 수행




물리적방식	화학적방식	생물학적방식
<p>▶ 가장 기본적으로 활용된 저감 방법은 기계적 환기에 의해 외부로 배출</p> <p>▶ 제 2의 대기 오염을 유발하기 때문에 방지 방안으로 배기팬에 덕트를 설치하여 바이오필터 처리를 하거나, 냉각 회수법을 통해 악취물질을 제거하는 방법이 적용(NCSU, 1997).</p>	<p>▶ 오존, 중화제나 은폐제를 적용하여 악취를 일시적으로나마 저감시킨 연구가 있음.</p> <p>▶ Varel과 Miller (2001)는 식물성 향료인 Carvacrol과 thymol을 적정 수준의 용액으로 혼합, 휘발성 지방산의 저감효과를 관찰.</p> <p>▶ 물과 콩기름을 적정 비율로 혼합, 악취를 운반하는 먼지의 농도를 저감시켜 악취를 제어한 연구들도 있음(Jacobson 등., 2000).</p>	<p>▶ 악취를 저감시키기 위해 첨가제를 투입한 연구사례들이 있음. : 첨가제들에는 양돈분뇨의 pH를 낮추어 분뇨내 암모니아 발생을 억제하기 위해 사용된 산성 용액(phosphoric acid, benzoic acid, hydrochloric acid, nitric acid, sulfuric acid, lactic acid), Zeolite와 같은 암석가루, bentonite와 같은 토양 광물질, 활성탄, 유카 추출물 등이 있음(Zhu 등, 1999).</p> <p>▶ 축사내 분뇨 피트로 악취물질 분해 능력이 탁월한 미생물제제를 투입하여 악취를 저감하고자 하는 연구가 있음(Ni 등, 2000).</p>

☞ 上記에서 제안된 저감 방법들은 주로 악취와 분진만을 한정

- ▶ 돈사와 계사에서 발생하는 공기오염물질 중 실질적으로 공기감염성 질병 유발 인자를 전체적으로 제어할 수 있는 실용적 방법 제안이 필요한 시점
- ▶ 제어의 효율성 & 축산업 현실을 고려한 저감 기술이 본 연구를 통해 검증이 가능

9. 공기정화기는 가정이나 일반 다중이용시설에서의 실내공기질을 제어하기 위해 주로 이용
 가. 축사시설에 적용한 사례는 국내외적으로 거의 연구된 바 없음.
 나. 따라서 공기감염성 가축질병의 주요 원인인 부유미생물 제어를 위한 공기정화기술의
 개발 및 실증 평가를 통한 현장 적용 가능성을 검토할 필요가 있음

제 2 절 연구개발의 목적

- 
Plasma HOO⁻를 이용한 돈사 환경 맞춤형 공기정화기 개발
- 
공기감염 돼지 질병 유발 요인 저감을 위한 공기정화기의 현장실증평가
- 
공기정화기에 의한 돈사 공기오염물질 농도 저감에 따른 돼지의 생산성 및 돈육의 안전성 확보

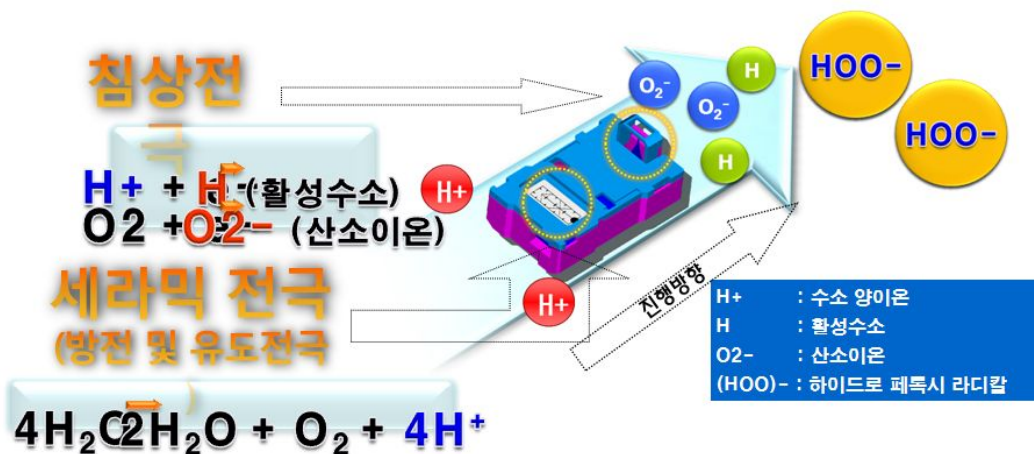
제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

1차년도

축산환경 맞춤형 공기정화기 개발

● 공기정화기 원리

➢ Micro plasma를 방전(放電)시켜, “활성수소”, “산소이온” 방출
 바이러스, 세균, 곰팡이, 활성산소(活性酸素) (OH-radical) 제거



2차 년도

- 공기정화기 저감 효율의 지속성 평가를 위한 양돈 현장 실증 실험

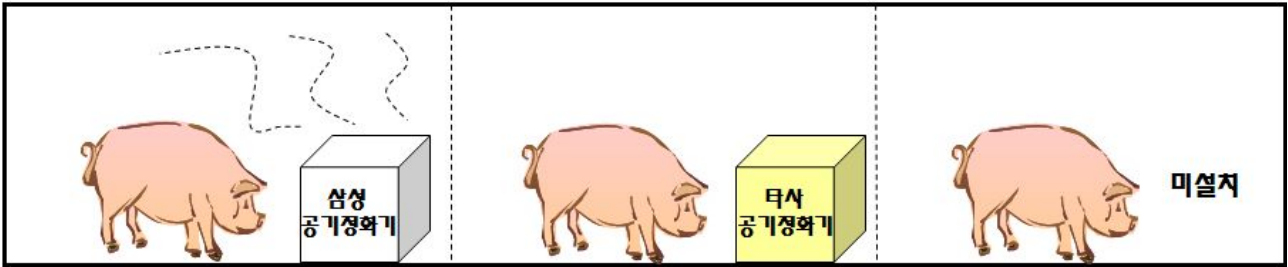


그림 3. 돼지의 생산성 측정을 위한 실험의 모식도
(<左 : 실험군 1 (공기정화기 설치 및 가동)> <중 실험군 2 (타사 공기정화기 설치 및 가동)> <右 : 대조군 (공기정화기 미설치)>)

3차 년도

Phase I 공기정화기 적용이 돼지의 생산성에 미치는 영향

- 입식후 출하시까지 가동전과 가동후 매일 1회 실험군과 대조군에서 생산성 지표 및 공기오염물질 측정(총 6회)
- 돼지의 생산성 측정 지표 : 증체량, 폐사율, 사료섭취량, 사료요구율
스트레스 호르몬(Cortisol, epinephrine, norepinephrine)
- 측정대상 공기오염물질 : 가스상 물질 [암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S)], 입자상 물질 [분진(PM)], 생물학상 물질 [부유미생물].

Phase II 공기정화기 적용이 돼지 돈육의 안전성에 미치는 영향

- 출하후 실험군과 대조군에서 선별된 각 10마리의 도체 품질 분석(6개월)
 - 외관 : ① 지방(량, 조직감, 색, 분포), ② 적육(량, 조직감, 색, 결)
 - 맛 : ① 연도(근섬유, 조직감), ② 풍미(풍미물질, 향) ③ 다즙성
 - 영양성분(에너지, 아미노산, 지방산, 비타민, 미네랄, 특수영양성분)
 - 안전성(돼지의 건강상태, 첨가물의 잔류, 식육의 위생)



그림 4. 돼지의 생산성 본 돈육의 안전성 평가를 위한 실험 모식도
(<左 : 실험군 (공기정화기 설치 및 가동)> <右 : 대조군 (공기정화기 미설치)>)

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 현황

1. 축사내 공기오염물질 제어를 위한 저감 기술

가. 농촌진흥청 (2005)에서는 바이오필터의 여재에 따른 악취 발생량 제거에 대한 연구를 하였는데, 여재는 기존 바이오필터로 많이 사용하였던 톱밥, 우드칩과 왕겨와 벚짚을 사용하였다. 1주, 2주, 4주로 나뉘어 시험한 결과, 암모니아 제거율은 기존의 톱밥과 우드칩이 77%로 높았고 왕겨가 70%, 벚짚이 46% 순으로 제거되었다. 그리고 황화수소의 경우에는 왕겨가 86%가 가장 좋은 제거 효율을 보였으며, 우드칩(85%), 톱밥(80%), 벚짚(62%) 순으로 제거 효율을 보였다.

나. 최 등 (2007)은 오존수를 돈사내에 살포하여 공기 중 오염물질 제거율을 조사하였는데 암모니아는 자돈사에서 70%, 육성사에서 34%의 제거효율, 부유세균은 30분 후가 35%, 1시간 후가 28%의 제거효율을 나타냈다. 일반소독제와 오존수의 부유세균에 대해서 비교해 본 결과 오존수의 소독은 30분 후가 80%, 1시간 후가 60%의 제거효율이 조사되었고, 일반 소독제는 30분 후가 35%, 1시간 후가 5%의 제거효율이 나타나 오존수가 저감효과가 우수한 것으로 조사되었다. 폐사율 또한, 일반 소독제 살포 이유자돈사 4.4%, 비육사 0.4%로 나타났고, 오존수 살포 이유자돈사가 2.1%, 비육사 0.3%로 폐사율에서도 일반 소독제보다 오존수를 살포하는 것이 더 좋은 효과를 보이는 것으로 조사되었다.

다. 오 등 (2008)의 연구 내용에서는 습식공기정화기를 적용하였는데 PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁의 미세 먼지 농도와 악취의 공기오염물질에 대하여 저감효과를 보고자 하였다. 연구결과 부유미세먼지가 평균 50%이상의 제거 효과를 보였으며, 암모니아의 경우 26%의 감소가 있었고, 악취물질의 경우 44%의 효과를 보였던 것으로 나타났다.

라. 원과 김 (2010)의 연구 내용에서는 오존발생기를 이용 오존공기정화시스템을 각기 3개 돈방에서 실시한 결과 FAN 100V의 공급산소 2L/min의 조건에서 암모니아는 각각 60, 62, 100%의 제거효율을 보였으며, 황화수소의 경우에는 모두 100%의 제거효율을 보였다. 잔류오존량 또한 기준치인 0.05ppm 이하의 농도를 보였다고 발표하였다.

마. 김 등 (2006)의 연구 결과를 살펴보면 돈사를 대상으로 수돗물, 소금물, 고온 호기성 분뇨 처리수, 미생물제제, 콩기름, 인공향료, 식물성 오일을 분무 방법으로 내부에 살포하여 악취 지표인 암모니아, 황화수소, 악취농도, 악취강도, 악취불쾌도의 저감율을 평가하였다.

제 2 절 국외 현황

1. 축사내 공기오염물질 제어를 위한 저감 기술

가. 물리적 방식

(1) 축사내 발생된 대기오염물질들을 제어하기 위해 가장 기본적으로 활용된 저감 방법은 기계적 환기에 의해 외부로 배출시키는 것으로 이렇게 외부로 배출된 악취물질은 제 2의 대기오염을 유발하기 때문에 이를 방지하기 위한 방안으로 배기팬에 덕트를 설치하여 최종 바이오필터 처리를 하거나, 냉각 회수법을 통해 악취물질을 제거하는 방법이 적용되었다 (NCSU, 1997).

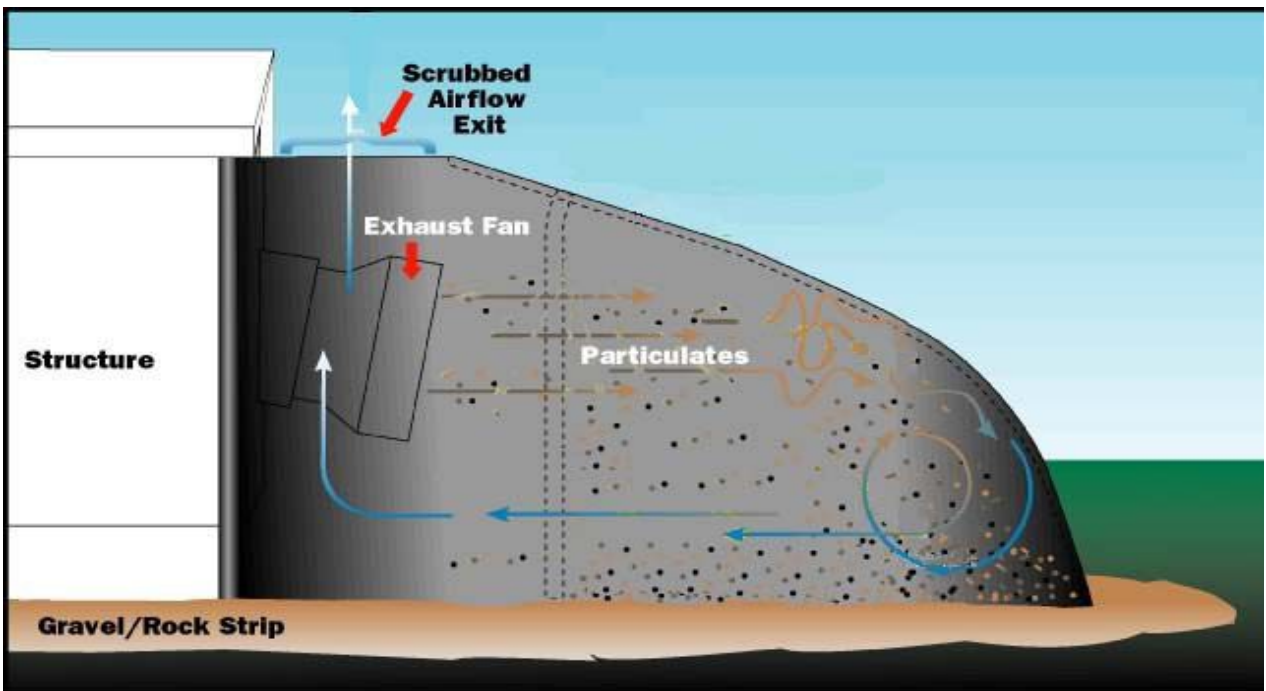
(2) 돈사 악취 저감을 위해 적용된 바이오필터 공법(<그림 1> 참조)은 1933년 미국의 Jenks가 처음 제안하여 연구되어 현재까지 적용되고 있다. Sheridan et al. (2000)의 연구 내용에서는 아일랜드의 돈사내에 바이오필터를 적용하여 암모니아와 악취 제거 효율을 조사하였는데 각각 54~93%, 77~95% 효과가 발생한 것으로 보고되고 있다.

(3) Sheridan (2009)의 연구 보고에 따르면 우드칩을 재료로 한 바이오필터를 적용시 우드칩이 10mm와 16mm의 입자일 경우를 비교하여 악취와 암모니아 제거율을 고찰해 본 결과 악취는 88%, 95%로 각각 제거 되었으며, 암모니아의 제거 범위는 64~92%, 69~93%로 조사되었다. 황화수소의 경우 9~66%, -147~51%의 효율을 보였다. 우드칩의 입자의 크기에 대한 영향 보다는 주변 습도나 돈사 면적과 환기시설에 의하여 악취물질이 제거되는 효율에 미치는 영향이 더 큰 것으로 고찰하고 있다.

(4) Ye et al. (2009)은 바이오커튼(<그림 2> 참조)을 돈사에서 발생하는 악취 제어 수단으로 적용하였다. 연구 내용에 의하면 공기의 기류조건과 환기율과 바이오커튼의 각도에 따라 돈사 외부의 암모니아와 악취물질을 방출하는데 영향을 주는데, 슬러리 덩어리의 상단부분을 환기하여 전향장치를 돈사별로 2개 설치하고 45도 각도의 바이오커튼을 사용하면, 암모니아와 악취물질의 외부로 방출되는 것을 차단 할 수 있는 역할 할 수 있다고 결론을 내렸으나, 이에 대한 지속적 보완 연구의 필요성을 강조하였다.



<그림 1> 바이오필터의 돈사 적용 사례



<그림 2> 바이오커튼 설치에 의한 축산 악취 및 분진의 제어 기작

나. 화학적 방식

(1) 음용수의 소독 및 살균 혹은 공기정화를 위해 이용된 오존(<그림 3> 참조)이 축사내 악취를 저감하기 위해 적용된 몇몇 연구 사례들이 보고되었다 (Kerr et al., 2008; Rumsey, 2010).



<그림 3> 돈사 시설에 적용된 악취 제어용 오존 발생기 실물도

(2) 중화제나 은폐제를 축사내 적용하여 악취를 일시적으로 저감시킨 연구들

(가) Varel과 Miller (2001)는 식물성 향료인 Carvacrol과 thymol을 적정 수준의 용액으로 혼합, 축사내 분뇨 피트에 투입하여 악취물질 중 하나인 휘발성 지방산의 저감효과를 평가하였다.

(나) 물과 콩기름을 적정 비율로 혼합, 이를 축사 내부로 분무(<그림 4> 참조)하여 악취를 운반하는 먼지의 농도를 저감시켜 악취를 제어하였다 (Jacobson 등., 2000).



<그림 4> 돈사 시설에 적용된 악취 제어용 분무 시스템 실물도

(다) Pouliot et al. (2010)은 부유 바이러스, 세균, 곰팡이 등의 공기감염균을 제어하기 위한 목적으로 항균성 공기정화장치를 돈사 내부에 설치하여 적용하였는데, 악취 및 분진 보다는 부유 미생물의 제어 효율이 상대적으로 높다고 보고한 바 있다.

다. 생물학적 방식

(1) 배설된 분뇨에서 악취를 저감시키기 위해 사료 혹은 분뇨 피트에 첨가제를 투입한 연구 사례

(가) 양돈분뇨의 pH를 낮추어 분뇨내 암모니아 발생을 억제하기 위해 사용된 산성 용액 (phosphoric acid, benzoic acid, hydrochloric acid, nitric acid, sulfuric acid, lactic acid)을 적용하거나, Zeolite와 같은 암석가루, bentonite와 같은 토양 광물질, 활성탄, 유카 추출물 등을 분뇨 피트에 첨가하여 악취 저감율을 평가하였다 (Zhu 등, 1999).

(나) 축사내 분뇨 피트로 악취물질 분해 능력이 탁월한 미생물제제를 투입하여 악취 저감을 시도했던 연구도 보고되었다 (Ni et al., 2000).

(다) Liao and Bundy(1994)와 Barrington(1990)에 의하면 악취저감용 미생물제제는 박테리아와 효소를 포함하고 있는데, 그것들의 복합적인 생화학적 소화공정에 의해 가스상의 오염물질의 방출이 억제되고 그로 인해 악취가 제거됨을 규명하였다.

제 3 절 본 연구 개발기술의 차별성

현재까지 축사에서 발생하는 공기오염물질을 제어하기 위한 기술들은 국/내외 모두 주로 악취 성분의 가스상 오염물질과 분진 등의 입자상 오염물질을 제어하기 위한 현장 연구들이 주로 수행되었다. 하지만 본 연구 개발 기술의 최종 목적은 공기감염성 가축질병 유발인자인 부유 세균, 진균, 바이러스 등의 부유 미생물을 저감하기 위한 현장 적용 연구로서 기존의 연구 방향과는 차별화된 위치를 선점하고 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 돼지 공기감염성 질병예방을 위한 돈사 맞춤형 공기정화기 개발 (1차년도)

1. 돈사내 공기오염물질 발생 정도를 파악하기 위한 현장 조사

가. 연구 대상

본 연구에서 조사된 돈사는 분뇨 처리 시스템, 환기 방식, 돼지 성장 단계라는 세 가지 기준에 근거하여 5개의 돈사 유형을 조사 대상으로 하였다(<표 1> 참조). 분뇨 처리 시스템의 형태를 기준으로 우리나라의 돈사 유형을 세 가지로 분류하면 슬러리 돈사(Deep-pit manure system with slats), 스크레이퍼 돈사(Manure removal system by scraper), 톱밥 돈사(Deep-litter bed system)이며, 환기 방식 측면에서는 주로 측벽 배기를 적용하는 밀폐형 강제 환기와 측벽에 윈치 커튼(winch-curtain)을 설치하여 환기를 유도하는 개방형 자연 환기로 구분할 수 있는데, 우리나라의 톱밥 돈사의 경우 대부분이 개방형 자연 환기 돈사 형태를 취하고 있다. 또한 돼지 성장 단계 측면에서는 평균 체중 50~100kg의 육성/비육돈을 사육하고 있는 농가를 대상으로 하였다. 이를 종합하여 각 돈사 유형별로 15개소를 선정하여 경기, 충청, 경상, 전라도에 위치하고 있는 총 75 농가를 임의 선정하여 방문 조사하였다.

Table 1. Characteristics of the pig buildings investigated in this research

Housing type		Pig type	No.
Manure collection system	Ventilation mode		
Deep-pit manure system with slats	Natural ventilation.	Growing/Finishing	15
	Mechanical ventilation	Growing/Finishing	15
Manure removal system by scraper	Natural ventilation.	Growing/Finishing	15
	Mechanical ventilation	Growing/Finishing	15
Deep-litter bed system	Natural ventilation.	Growing/Finishing	15

나. 연구 방법

돈사내 농도는 복도 중앙의 세 지점에서 측정한 값들의 평균을 대표값으로 하였으며, 발생량은 내부 공기 배출구 지점에서 측정한 농도 값에 유량을 곱하여 나타냈다. 유량은 강제환기 방식의 밀폐형 돈사의 경우 배기팬 면적에 유속을 곱하여 측정하였고, 자연 환기 방식의 개방형

돈사의 경우 내부와 외부의 온도 및 CO₂ 농도를 직독식 측정기를 이용하여 측정한 후 내부와 외부간의 차이를 근거로 열 평형 및 CO₂ 평형 방법을 병행하여 측정하였다. 발생량에 대한 원 단위 배출 계수 산정을 위해 조사 대상 각 돈사의 면적과 사육되는 돼지의 총 무게를 조사하였다. 돈사의 사육 면적은 줄자를 가지고 직접 측정하거나 돼지 전염병 확산을 우려한 농가의 경우 농장주로의 협조를 받았으며, 돼지 무게의 경우 현실적으로 사육되는 돼지들의 총 무게를 측정한다는 것은 불가능했기 때문에 이 또한 농장주로부터 자료를 받아 75kg을 돼지 한 마리의 무게로 설정한 후 산정하였다. 측정 데이터 분석은 SAS package(1999)를 이용한 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 통해 돈사 유형에 따른 공기오염물질의 농도 및 발생량의 통계적 차이를 입증하였다. 조사대상 돈사내 각 공기오염물질의 측정 및 분석 방법은 다음과 같다.

(1) 가스상 오염물질 - 암모니아 & 황화수소

암모니아와 황화수소의 측정 방법은 NIOSH에서 제시한 분석 방법에 근거하였다 (NIOSH, 1998). 암모니아의 경우 황산 흡수액 10ml를 넣은 임핀저(impinger)를 폴리에틸렌 튜브로 공기 흡입 펌프(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, N.J.)에 연결한 후 1.5~2.0 l/min의 유량으로 돈사내 농도 수준에 따라 15~45분 동안 공기 시료를 포집한 후 UV-spectrophotometer를 통해 흡광법으로 측정하였다. 황화수소는 고체 활성탄관으로 시료를 포집한 후 Ion Chromatography를 통해 측정하였으며, 그 밖의 분석 과정은 암모니아의 경우와 동일하다. 시료 채취 시간은 오전 10시부터 오후 5시 사이에 3회 반복 측정한 값들의 평균을 대표값으로 하였다.

(2) 입자상 오염물질 - 총분진 & 호흡성분진

시료 채취 전 유리섬유 여과지(37 mm diameter, 0.8 μm pore size, Nuclepore Corp. Pleasanton, CA, U.S.A.)를 데시케이터에서 24시간 동안 건조시킨 후 미세질량측정기(Ohaus model AP250D, Switzerland)를 통해 여과지의 무게를 측정하였다. 무게 측정 후 카세트 필터(Nuclepore Corp., Pleasanton, CA, U.S.A.)에 장착한 후 현장에서 7시간 동안(오전 10시~오후 5시) 채취하였다. 채취 후 실험실로 운반한 후 채취 여과지를 다시 데시케이터에 24시간 동안 방치한 다음 여과지의 무게를 측정, 시료 채취 전후 여과지의 무게 차이를 이용하여 농도값을 산출하였다. 농도값의 보정을 위해 매 시료 채취마다 2개의 공시료를 위와 같은 방법으로 측정 한 후 최종 농도값을 산정하였다. 공기 흡입 펌프(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)의 유량은 총 분진은 2.0 l/min, 호흡성 분진은 1.7 l/min로 설정하였으며 호흡성 분진의 경우 카세트 필터 대신 싸이클론(Gillian, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)에 여과지를 장착한 후 시료를 채취하였다. 또한 측정 전후의 공기 펌프의 유량을 측정하여 시료 채취로 인해 발생하는 유량의 변이를 보정하였다.

(3) 생물학상 오염물질 - 부유세균 & 부유진균

시료는 흡수법을 적용하여 포집하였으며, 시료 포집에 앞서 Thorne 등(1992)이 제시한 흡수액(1% peptone + 0.01% Tween 80 + 0.005% antifoaming agent) 10ml를 임핀저(Ace Glass Inc., Vineland, N.J.)에 넣은 후 autoclave를 통해 150°C, 2기압 조건하에서 30분 동안 멸균하였다. 멸균된 임핀저를 흡입구가 밀봉된 상태로 4°C 저장 조건을 유지하면서 현장으로 운반되었다. 흡입 펌프의 유량은 모두 2ℓ/min으로 설정하였고, 주관적 판단에 의한 돈사 내 오염 정도에 따라 15~30분 동안 시료를 채취하였다. 또한 측정 전후의 공기 펌프의 유량을 측정하여 시료 채취로 인해 발생하는 유량의 변이를 보정하였다. 현장에서 포집된 시료는 임핀저의 흡입구를 다시 밀봉한 후 4°C 저장 조건하에서 분석실로 바로 운반한 다음, 시료 채취시 임핀저 표면에 묻은 먼지나 오염물질을 75% 에탄올로 제거한 후 clean bench내에서 분석하였다. 약 5초 동안 임핀저를 shaking 한 후 micropipet으로 흡수액 100μℓ를 채취, 10단계 희석법으로 10⁵까지 진행하였으며 희석된 각각의 시료에 대해 3반복으로 평판 한천 배지에 도말하였다. 박테리아의 경우 NA(Nutrient Agar) 배지(Beef extract 3g; Peptone 8g; NaCl 5g; Agar 18g; + 증류수 1ℓ)를 이용하였는데, 곰팡이의 성장을 억제하기 위한 목적으로 cycloheximide 500mg을 첨가하였다. 한편, 곰팡이의 경우 MEA(Malt Extract Agar) 배지(Malt extract 20.0g; Dextrose 20.0g; Peptone 1.0g; Agar 20.0g; + 증류수 1ℓ)를 이용하였는데, 박테리아의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100mg을 첨가하였다. 배양시간은 박테리아의 경우 37°C에서 1~2일, 곰팡이의 경우 25°C에서 3~5일로 설정하였다. 배양 후 배지에 형성된 박테리아와 곰팡이의 집락수에 시료 채취시의 유량을 고려한 다음 대수를 취하는 방법으로 부유 미생물의 농도를 표시하였다.

다. 연구 결과 및 고찰

(1) 가스상 오염물질

돈사 유형에 관계없이 돈사 내부 암모니아 평균 농도는 7.5ppm, 범위는 0.8~21.4ppm으로 조사되었다. 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 평균 농도와 범위는 6.9ppm과 2.1~10.2ppm인 반면, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 12.1ppm과 7.3~21.4ppm을 보이는 것으로 나타났다. 스크레이퍼 방식으로 분뇨 처리를 하는 돈사의 암모니아 농도는 자연환기 방식이 적용되는 경우 평균 5.1ppm, 3.1~9.5ppm의 범위를 나타냈고, 강제환기 방식이 적용되는 경우 평균 11.4ppm, 8.1~15.2ppm의 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 자연환기 방식을 취하고 있는 톱밥 돈사는 평균 2.2ppm, 0.8~5.1ppm 범위의 암모니아 농도를 보였다. 환기 방식 측면에서는 강제환기가 적용되는 돈사의 암모니아 농도가 자연환기가 적용되는 돈사보다 높은 것으로 나타났다(p<0.05), 분뇨 처리 형태 측면에서는 톱밥 돈사가 다른 돈사에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다(p<0.05). 황화수소의 경우 돈사 유형에 관계없이 평균 농도는 286.5ppb였으며, 45.8~1,235ppb의 범위를 보였다. 자연환기 방식의 슬러리 돈사는 296.3ppb와 74.2~672.4ppb,

강제환기 방식의 슬랫 돈사는 612.8ppb와 121.6~1,235ppb의 평균 농도 및 범위를 보였다. 스크레이퍼 돈사는 자연환기 방식의 경우 115.2ppb와 46.8~ 313.1ppb, 강제환기 방식의 경우 270.3ppb와 86.9~912.5ppb의 평균 농도와 범위를 나타낸 반면, 자연환기 방식으로 운용되고 있는 톱밥 돈사의 경우 평균 137.8ppb, 45.8~289.2의 농도 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 가장 높은 농도를 나타낸 돈사는 암모니아와 마찬가지로 강제환기 방식의 슬랫 돈사였고, 자연환기 방식의 스크레이퍼 돈사가 가장 낮은 농도를 보이는 것으로 분석되었다($p < 0.05$). 또한 조사대상 모든 돈사가 암모니아(25ppm)와 황화수소(10ppm)의 장시간 노출기준을 초과하지 않는 것으로 조사되었다(<표 2> 참조).

Table 2. Concentration of NH₃ and H₂S according to types of pig buildings

Housing type Manure collection system	Ventilation mode	NH ₃ (ppm)		H ₂ S(ppb)	
		Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	*N.V.	‡ 6.9 ^a	2.1 - 10.2	296.3 ^a	74.2 - 672.4
	† M.V.	12.1 ^b	7.3 - 21.4	612.8 ^b	121.6 - 1,235
Manure removal system by scraper	N.V.	5.1 ^a	3.1 - 9.5	115.2 ^c	46.8 - 313.1
	M.V.	11.4 ^b	8.1 - 15.2	270.3 ^a	86.9 - 912.5
Deep-litter bed system	N.V.	2.2 ^c	0.8 - 5.1	137.8 ^c	45.8 - 289.2
Mean		7.5	0.8 - 21.4	286.5	45.8 - 1,235

* : Natural ventilation

† : Mechanical ventilation

‡ : a,b,c,d means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

발생량 원단위의 경우 암모니아의 평균값은 75kg 육성돈 돼지 한 마리 기준으로 250.2mg/h/pig(8.2~826.5mg/h/pig), 단위 면적(m²) 기준으로 336.3mg/h/m²(23.3~1,068mg/h/m²)로 분석되었으며, 자연환기 방식의 톱밥돈사(84.9mg/h/pig, 114.1mg/h/m²)가 상대적으로 다른 유형의 돈사에 비해 매우 낮은 농도를 보인 것으로 분석되었으나($p < 0.05$), 나머지 네 유형의 돈사는 통계적으로 차이가 없었다($p > 0.05$). 황화수소의 경우 평균 발생량 원단위는 37.8mg/h/pig(6.2~192.5mg/h/pig), 50.9mg/h/m²(6.3~224.3mg/h/m²)로 가장 낮은 발생량 원단위 수치를 나타낸 돈사는 암모니아와 동일하게 자연환기 방식의 톱밥돈사(18.5mg/h/pig, 24.9mg/h/m²)였고($p < 0.05$), 그 밖의 돈사들은 통계적 차이가 없는 것으로 분석되었다($p > 0.05$)(Table 3).

조사대상 돈사 내부의 암모니아와 황화수소 농도 모두 분뇨 처리 시스템의 경우 슬랫>스크레이퍼>톱밥돈사 순이었으며, 환기 방식의 경우 자연환기보다는 강제환기 적용시 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 슬랫 돈사 내부의 암모니아와 황화수소의 농도가 다른 분뇨처리 방식을 적용하는 곳보다 상대적으로 높게 나타난 이유는 돈사 바닥이 슬랫(slat)으로 이루어져 바닥 밑에 설치된 피트(pit) 표면적을 완전히 차단하지 못하기 때문이라 판단된다. 따라서 피트에 저장된 돼지 분뇨로부터 발생하는 가스 물질들이 용이하게 돈사 내부의 공기 중으로 쉽게

Table 3. Emission of NH₃ and H₂S according to types of pig buildings

NH ₃					
Housing type Manure collection system	Ventilation mode	mg/h/ [*] pig		mg/h/m ²	
		Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	[†] N.V.	[§] 284.1 ^a	52.5 - 482.1	381.9 ^a	81.1 - 514.3
	[‡] M.V.	320.1 ^a	24.2 - 826.5	430.3 ^a	113.8 - 1,068
Manure removal system by scraper	N.V.	263.5 ^a	38.2 - 524.2	354.1 ^a	123.6 - 678.2
	M.V.	298.3 ^a	83.3 - 725.6	400.9 ^a	213.4 - 820.4
Deep-litter bed system	N.V.	84.9 ^b	8.2 - 210.1	114.1 ^b	23.3 - 352.3
Mean		250.2	8.2 - 826.5	336.3	23.3 - 1,068

H ₂ S					
Housing type Manure collection system	Ventilation mode	mg/h/pig		mg/h/m ²	
		Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V.	42.1 ^a	8.0 - 120.2	56.5 ^a	19.2 - 93.2
	M.V.	53.4 ^a	18.6 - 192.5	71.7 ^a	24.2 - 224.3
Manure removal system by scraper	N.V.	36.0 ^a	6.2 - 92.2	48.4 ^a	11.2 - 108.2
	M.V.	39.2 ^a	10.2 - 112.3	52.7 ^a	16.3 - 186.3
Deep-litter bed system	N.V.	18.5 ^b	8.3 - 73.3	24.9 ^b	6.3 - 64.3
Mean		37.8	6.2 - 192.5	50.9	6.3 - 224.3

* : Based on growing/finishing pig(75kg)

[†] : Natural ventilation

[‡] : Mechanical ventilation

[§] : a and b means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

회발될 수 있기 때문이며, 이는 이전의 연구 보고들에서도 언급한 바 있다(Swierstra 등, 1995; Aarnink 등, 1996). 톱밥 돈사의 경우 바닥에 톱밥을 깔아주기 때문에 돼지가 배설하는 분뇨와 혼합되어 질산화나 탈질화 같은 미생물에 의한 분뇨의 분해 과정이 용이하게 진행된다 (Groenestein, 1993). 그 결과 배설된 분뇨내 암모늄 이온(NH₄⁺)이 암모니아 형태 보다는 질소 형태로 전환되어 공기 중으로 방출되기 때문에 내부의 암모니아 농도가 상대적으로 낮게 분석된 이유라 사료된다. 하지만 연구 분석 결과를 종합적으로 고찰해 보면, 돈사 내부의 암모니아와 황화수소의 농도 수준은 분뇨 처리 형태보다는 환기 방식에 의해 영향을 받는다고 판단된다.

암모니아와 황화수소의 발생량 원단위의 경우 분뇨 처리 시스템 측면에서는 톱밥 돈사가 상대적으로 낮은 수치를 나타내었을 뿐 슬랫과 스크레이퍼는 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 환기 방식 측면에서는 대체로 강제환기와 자연환기간의 통계적 차이가 없는 것으로 조사되었다. 이처럼 환기 방식의 차이에 따른 암모니아와 황화수소의 발생량 원단위가 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석된 이유는 현장 조사가 극단적인 기후 조건을 보이지 않는 봄과 가을에 수행되어 배기팬에 의한 강제 환기율보다는 자연 대류에 의한 자연 환기율이 상대적으로 더 높았기 때문이라 추정된다. 돈사로부터 발생하는 가스상 오염물질의 발생량은 공기 배출구에서

측정된 농도 수치에 유량을 곱하여 산정된다. 일반적으로 유량은 강제환기 돈사의 경우 돈사 내부와 외부의 정압 차이 및 환기팬 작동 데이터를 이용하며, 자연환기 돈사의 경우 추적 가스(tracer gas), 열 평형, 이산화탄소 평형 등의 방법 등을 이용하여 산정한다(Gay 등, 2003). 하지만, 돈사 내부에는 돼지의 행동성, 배기팬 내부의 분진 집적, 정압의 급격한 변화 등과 같은 공기 흐름에 영향을 주는 요인들이 많기 때문에 정확한 유량을 산정한다는 것은 현재로서는 거의 불가능한 일이다(Bicudo 등, 2002). 따라서 이번 연구 결과에서 나타난 돈사에서의 암모니아와 황화수소의 발생량 원단위를 비교 평가할 때에는 위에서 언급한 사항을 고려해야 할 것이다.

(2) 입자상 오염물질

<표 4>는 조사 대상 돈사 유형에 따른 총 분진과 호흡성 분진의 내부 농도를 보여주고 있다. 총분진의 평균 농도는 1.88 mg/m^3 로 최소 0.53 mg/m^3 에서 최대 4.37 mg/m^3 의 범위를 보여 돈사의 유형에 따라 상당한 차이가 있는 것으로 조사되었다. 자연환기 형태를 취하고 있는 톱밥 돈사와 기계적 환기로 운용되고 있는 스크레이퍼 돈사에서 측정된 총 분진 농도가 다른 유형의 돈사에 비해 통계적으로 높은 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 가장 낮은 총 분진 농도를 보인 돈사는 자연환기 형태의 슬랫 돈사로 분석되었다($p < 0.05$).

한편, 호흡성 분진의 경우 평균 농도가 0.64 mg/m^3 로 돈사 유형에 따라 0.18 mg/m^3 에서 1.68 mg/m^3 의 농도 범위를 나타내는 것으로 조사되었다. 슬랫 돈사는 자연환기 시스템으로 운용되고 있는 경우 평균 0.24 mg/m^3 , $0.18 \sim 0.52 \text{ mg/m}^3$ 의 농도 범위를 나타냈으며 기계적 환기 시스템이 적용되고 있는 경우 평균 0.51 mg/m^3 , $0.24 \sim 0.88 \text{ mg/m}^3$ 의 농도 범위를 보이는 것으로 분석되었다. 스크레이퍼 돈사는 자연환기의 경우 평균 0.48 mg/m^3 ($0.31 \sim 0.74 \text{ mg/m}^3$)이었으며, 기계적 환기의 경우 평균 0.83 mg/m^3 ($0.23 \sim 1.32 \text{ mg/m}^3$)의 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 그리고 자연환기 형태의 톱밥 돈사의 경우 평균 1.14 mg/m^3 와 $0.52 \sim 1.68 \text{ mg/m}^3$ 의 농도 범위를 보였다. 측정 결과 호흡성 분진 농도가 가장 높은 돈사는 자연환기가 적용되는 톱밥 돈사였고($p < 0.05$), 가장 낮은 곳은 자연환기 형태의 슬랫 돈사로 총 분진 농도의 양상과 거의 유사한 것으로 분석되었다.

<표 5>에서 제시하는 바와 같이 돈사 유형에 따른 총 분진의 원단위 발생량은 단위 면적(m^2) 기준으로 평균 37.83 mg/h/m^2 , 두(75 kg)당 평균 50.85 mg/h/pig 가 외부로 배출되는 것으로 나타났다. 원단위 발생량 범위는 면적당 $24.55 \sim 305.24 \text{ mg/h/m}^2$ 와 두당 $37.14 \sim 386.46 \text{ mg/h/pig}$ 를 보여 돈사 유형에 따라 상당한 변이를 나타내는 것으로 분석되었다. 통계적으로 가장 높은 원단위 발생량을 나타낸 돈사는 자연환기로 운용되고 있는 톱밥 돈사였으며($p < 0.05$), 가장 낮은 곳은 기계적 환기가 적용되고 있는 슬랫 돈사인 것으로 분석되었다($p < 0.05$).

호흡성 분진의 경우 단위 면적(m^2) 기준으로 평균 12.83 mg/h/m^2 , 두(75kg)당 평균 9.55 mg/h/pig 가 외부로 배출되는 것으로 조사되었으며, 원단위 발생량 범위는 면적당 $4.14 \sim 38.64 \text{ mg/h/m}^2$ 와 두당 $2.82 \sim 28.08 \text{ mg/h/pig}$ 를 보여 총 분진의 경우와 마찬가지로 유형에 따른 돈사

Table 4. Concentration of total and rerable dust according to types of pig buildings

Housing type		Total dust (mg/m ³)		Rerable dust (mg/m ³)	
Manure collection system	Ventilation mode	Mean	Range	Mean	Range
		Deep-pit manure system with slats	*N.V.	‡ 0.83 ^a	0.53 - 1.13
	† M.V.	1.52 ^b	0.78 - 2.12	0.51 ^b	0.24 - 0.88
Manure removal system by scraper	N.V.	1.67 ^b	0.82 - 2.58	0.48 ^b	0.31 - 0.74
	M.V.	2.42 ^c	1.26 - 3.25	0.83 ^c	0.23 - 1.32
Deep-litter bed system	N.V.	2.94 ^c	1.88 - 4.37	1.14 ^d	0.52 - 1.68
Mean		1.88	0.53 - 4.37	0.64	0.18 - 1.68

* : Natural ventilation

† : Mechanical ventilation

‡ : a, b, c, d means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

간의 차이가 비교적 상당한 것으로 분석되었다. 조사 결과 자연환기로 운용되고 있는 톱밥 돈사에서 호흡성 분진의 원단위 발생량이 가장 높은 것으로 나타났으나($p < 0.05$), 다른 나머지 네 돈사는 통계적 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다($p > 0.05$).

현장 조사 결과 입자상 오염물질인 총 분진과 호흡성 분진의 농도는 자연환기 시스템이 적용되고 있는 톱밥 돈사에서 상대적으로 가장 높은 것으로 분석되었다. 이러한 결과가 나타나게 된 주요 원인은 돈사 바닥에 깔아 놓은 톱밥에 의한 것으로 판단된다. 우리나라에서는 일반적으로 돈사 바닥 깔개로 톱밥을 가장 많이 이용하는데, 사료 입자와 더불어 톱밥 입자가 돈사 내 분진의 주요 발생원이라 추정할 수 있다. 돈사 바닥에 깔린 톱밥의 건조 상태가 심화될수록 분진의 발생은 상대적으로 높아지며, 특히 돼지들의 행동성은 톱밥 및 분뇨 입자의 공기 중으로의 이동을 촉진시킬 뿐 아니라 바닥으로 침전된 분진을 다시 공기 중으로 부유시키는 원인이기도 하기 때문에 돈사 내부의 분진 농도를 높이는 주요 인자로 여러 연구자들에 의해 언급되고 있다(Grub 등, 1965; Yoder와 Van Wicklen, 1988). 반면 Takai 등 (1998)과 Seedorf 등 (1998)은 톱밥 돈사의 경우 돼지의 분뇨가 바닥 밑으로 배출되지 못하고 바닥에 깔린 톱밥과 혼합되기 때문에 다른 돈사에 비해 내부 상대습도가 높아져 오히려 분진 농도가 낮다고 보고하였으나, 이번 현장 조사 결과와는 정반대인 것으로 분석되었다.

돈사 유형에 따라 분진 농도가 상이하게 나타난 현상은 분뇨 수거 시스템과 환기 시스템의 두 가지 측면에서 해석될 수 있다. 바닥에 틈을 주어 배설된 분뇨가 피트(pit)로 이송되어 저장되는 슬랫 돈사는 공기 중에 부유하고 있던 분진 입자가 중력에 의해 침전되는 경우 다른 돈사에 비해 바닥과의 접촉 면적 감소로 인한 공기 중으로의 재부유할 가능성이 희박하기 때문에 실내 분진 농도를 저감시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있다 (Heber와 Stroik, 1988; Klooster 등, 1993). Chiba 등 (1987)은 기계적 환기가 적용되는 돈사 내부의 분진 농도가 자연

Table 5. Emission of total and rerable dust per pig and area according to types of pig buildings

Total dust					
Housing type Manure collection system	Ventilation mode	mg/h/* pig		mg/h/m ²	
		Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	† N.V.	§78.28 ^a	24.55 - 110.26	105.22 ^a	37.14 - 192.38
	‡ M.V.	82.35 ^a	47.64 - 151.43	110.69 ^a	63.25 - 235.18
Manure removal system by scraper	N.V.	80.09 ^a	51.08 - 184.76	107.65 ^a	63.16 - 208.34
	M.V.	93.18 ^a	38.16 - 210.19	125.24 ^a	53.28 - 264.29
Deep-litter bed system	N.V.	152.74 ^b	84.16 - 305.24	205.30 ^b	93.18 - 386.46
Mean		97.33	24.55 - 305.24	130.82	37.14 - 386.46

Rerable dust					
Housing type Manure collection system	Ventilation mode	mg/h/pig		mg/h/m ²	
		Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V.	7.05 ^a	3.14 - 10.27	9.48 ^b	4.26 - 15.28
	M.V.	6.18 ^a	4.25 - 9.16	8.31 ^{ab}	5.33 - 11.26
Manure removal system by scraper	N.V.	8.24 ^a	2.82 - 15.18	11.08 ^b	4.14 - 25.27
	M.V.	9.12 ^a	5.22 - 19.26	12.26 ^b	7.64 - 30.18
Deep-litter bed system	N.V.	17.14 ^b	10.54 - 28.08	23.04 ^c	14.32 - 38.64
Mean		9.55	2.82 - 28.08	12.83	4.14 - 38.64

* : Based on growing/finishing pig (75 kg)

† : Natural ventilation

‡ : Mechanical ventilation

§ : a and b means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

환기 돈사보다 낮다고 보고하고 있으나, 이번 연구에서는 자연환기 돈사에서 분진 농도가 대체로 낮은 경향을 보였다. 이는 측정 당시의 기후 조건과 돈사 내부 환경 양상에 따른 영향도 있지만, 기계적 환기 시스템을 적용하고 있는 우리나라의 돈사들이 대부분 MWPS (1988)에서 제시하고 있는 적정 환기율을 실제 현장에서 이행하지 않는 것을 반증하고 있는 것이다.

돈사의 유형에 따라 상당히 높은 농도 차이가 있는 것으로 분석되었는데, 그 이유는 위에서 언급한 돈사의 설비 측면의 차이도 있겠지만, 다른 두 가지 근거도 제시할 수 있다. 첫째, 물리적 요인인 온도와 상대습도는 분진의 발생 과정에 상호 복합적으로 영향을 줄 수 있기 때문에 (Donham 등, 1986) 현장 조사 당시 외부의 온도 및 상대습도의 변화에 따라 돈사 내 분진 농도가 달라질 수 있다. 둘째, 동일한 유형의 돈사라 하더라도 환기 시스템 운용 및 작업 환경 조건에 따라 분진 농도의 상당한 변이차가 발생될 것이라 판단된다.

(3) 생물학상 오염물질

조사 대상 돈사 내 부유세균의 평균 농도는 4.13 log(cfu/m³)였으며, 1.16~10.26 log(cfu/m³)

의 범위를 보여 돈사의 유형에 따라 상당한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 상대적으로 가장 높은 수준의 부유세균 농도를 나타낸 돈사는 자연환기 방식이 적용되는 톱밥 돈사였고, 가장 낮은 수준의 농도를 보인 곳은 자연환기 방식의 슬랫 돈사인 것으로 입증되었으며($p < 0.05$), 나머지 세 돈사 간에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2). 한편 부유진균은 $3.14 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 의 평균 농도를 나타냈으며, 최소 $0.48 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 에서 최대 $6.86 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 의 범위를 나타내 부유세균의 경우와 마찬가지로 돈사 유형간 농도 차이가 대체로 큰 것으로 분석되었다. 가장 높은 수준을 보인 돈사는 자연환기 방식의 톱밥돈사였고, 자연환기 방식의 슬랫 돈사가 가장 낮은 수준의 부유진균 농도를 나타낸 것으로 입증되었다($p < 0.05$). 하지만 강제환기 방식의 슬랫 돈사와 자연환기 방식의 스크레이퍼 돈사, 자연환기 방식의 스크레이퍼 돈사와 강제환기 방식의 스크레이퍼 돈사 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었다($p > 0.05$). 본 조사 결과 돈사 유형에 따른 부유세균의 농도는 부유진균보다 일반적으로 약 $1 \log(\text{cfu}/\text{m}^3)$ 정도 더 높은 것으로 분석되었다 (<표 6> 참조).

Table 6. Concentration of total airborne bacteria and fungi according to types of pig buildings

Housing type		Total airborne bacteria $\log(\text{cfu}/\text{m}^3)$		Total airborne fungi $\log(\text{cfu}/\text{m}^3)$	
Manure collection system	Ventilation mode	Mean	Range	Mean	Range
		Deep-pit manure system with slats	* N.V.	‡ 2.52 ^a	1.91 - 4.18
	* M.V.	3.83 ^b	1.24 - 4.83	2.75 ^b	1.04 - 3.85
Manure removal system by scraper	N.V.	3.52 ^b	1.16 - 5.35	2.83 ^{bc}	1.24 - 4.64
	M.V.	5.04 ^b	2.13 - 8.37	3.14 ^c	0.91 - 4.88
Deep-litter bed system	N.V.	5.76 ^c	2.57 - 10.26	5.14 ^d	2.85 - 6.86
Mean		4.13	1.16 - 10.26	3.14	0.48 - 6.86

* : Natural ventilation

† : Mechanical ventilation

‡ : a,b,c,d means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

<표 7>에서 나타난 바와 같이 돈사 유형에 따른 부유세균의 원단위 발생량은 단위 면적(m^2) 기준으로 평균 $1.32 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{m}^2$, 두(75kg 기준)당 평균 $0.98 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{pig}$ 가 외부로 배출되는 것으로 조사되었다. 원단위 발생량 범위는 면적당 $0.42 \sim 4.28 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{m}^2$ 와 두당 $0.33 \sim 2.67 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{pig}$ 를 보여 돈사 유형에 따라 상당한 변이를 나타내는 것으로 분석되었다. 통계적으로 가장 높은 원단위 발생량을 나타낸 돈사는 자연환기 방식이 적용되는 톱밥 돈사였으나($p < 0.05$), 나머지 네 유형의 돈사 간에는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 입증되었다($p > 0.05$). 부유진균의 경우 단위 면적(m^2) 기준으로 평균 $0.96 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{m}^2$, 두당 평균 $0.73 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{pig}$ 가 외부로 배출되는 것으로 조사되었다. 원단위 발생량 범위는 면적당 $0.35 \sim 3.28 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{m}^2$ 와 두당 $0.24 \sim 2.24 \log(\text{cfu})/\text{h}/\text{pig}$ 를 보여 돈사 유형에 따른 발생량 차이가

대체로 큰 것으로 분석되었고, 자연환기 방식으로 운용되고 있는 톱밥 돈사에서 부유진균의 원 단위 발생량이 가장 높은 것으로 나타났으나($p < 0.05$), 다른 나머지 네 돈사는 통계적 유의한 차이가 없는 것으로 입증되어($p > 0.05$) 거의 부유세균의 경우와 유사한 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.

Table 7. Emission of total airborne bacteria and fungi according to types of pig buildings

Total airborne bacteria					
Housing type		log(cfu)/h/*pig		log(cfu)/h/m ³	
Manure collection system	Ventilation mode	Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	† N.V.	§0.76 ^b	0.45 - 1.18	1.02 ^a	0.58 - 2.06
	‡ M.V.	0.68 ^{ab}	0.51 - 1.67	0.91 ^a	0.63 - 2.57
Manure removal system by scraper	N.V.	0.92 ^b	0.48 - 1.75	1.24 ^a	0.55 - 3.16
	M.V.	0.88 ^b	0.33 - 2.14	1.18 ^a	0.42 - 3.96
Deep-litter bed system	N.V.	1.67 ^c	0.84 - 2.67	2.24 ^b	1.14 - 4.28
Mean		0.98	0.33 - 2.67	1.32	0.42 - 4.28

Total airborne fungi					
Housing type		log(cfu)/h/*pig		log(cfu)/h/m ³	
Manure collection system	Ventilation mode	Mean	Range	Mean	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V.	0.51 ^a	0.24 - 0.81	0.69 ^b	0.35 - 1.31
	M.V.	0.48 ^a	0.26 - 1.03	0.65 ^{ab}	0.44 - 1.82
Manure removal system by scraper	N.V.	0.62 ^a	0.35 - 0.93	0.83 ^b	0.56 - 1.54
	M.V.	0.73 ^a	0.44 - 1.11	0.98 ^b	0.68 - 2.24
Deep-litter bed system	N.V.	1.32 ^b	0.61 - 2.24	1.77 ^c	0.73 - 3.28
Mean		0.73	0.24 - 2.24	0.96	0.35 - 3.28

* : Based on growing/finishing pig(75kg)

† : Natural ventilation

‡ : Mechanical ventilation

§ : a and b means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

돈사 유형에 따른 부유세균과 부유진균의 실내 농도 및 발생량은 자연환기 방식이 적용되는 톱밥 돈사에서 상대적으로 높은 것으로 현장 조사 결과 규명되었는데, 이는 다음의 세 가지 사실에 근거하여 추론할 수 있다. 첫째, 일반적으로 공기 중에 부유하고 있는 미생물은 독립적 개체로 생존하여 실내 기류에 편승하여 이동될 수도 있으나, 대부분이 분진과 같은 입자상 물질에 흡착되어 운반되는 것으로 알려져 있다(Robertson and Frieben, 1984). 따라서 톱밥을 돈사 바닥 깔개로 사용하고 있는 돈사의 경우 다른 유형의 돈사보다 상대적으로 분진의 발생 가능성이 높기 때문인 것으로 판단된다. 둘째, 돈사에 적용되는 분뇨 수거 시스템방식에서 해석될 수 있다. 바닥에 틈을 주어 배설된 분뇨가 피트(pit)로 이송되어 저장되는 슬랫 돈사는 공기 중에 부유하고 있던 분진 입자가 중력에 의해 침전되는 경우 다른 돈사에 비해 바닥과의 접촉

면적 감소로 인한 공기 중으로의 재부유할 가능성이 희박하기 때문에 부유 미생물의 운반 매개체인 분진의 실내 농도가 저감되므로(Barber et al., 1991) 상대적 비교를 통해 톱밥 돈사내 부유 미생물 농도가 높은 것으로 사료된다. 세제, 돈사 내부의 물리적 환경 조건, 즉 온도와 상대습도가 부유 미생물의 생존 지속성에 상당한 영향을 준다는 사실이다. 연구자들마다 상이한 의견을 제시하고는 있지만, 대체로 실내 상대습도가 높으면 부유 미생물의 생존 및 증식이 증가된다는 경향이 지배적이다(Martha and Lighthart, 1990). 그러므로 톱밥 돈사의 경우 돼지의 분뇨가 바닥 밑으로 배출되지 못하고 바닥에 깔린 톱밥과 혼합되기 때문에 다른 돈사에 비해 내부 상대습도가 높아진다는 Seedorf 등(1998)과 Takai 등(1998)의 연구 보고에 근거를 둔다면 현장 조사를 통해 나타난 분석 결과의 해석이 가능하리라 판단된다.

현장 조사 결과 돈사의 유형에 따라 부유세균과 부유진균의 농도 차이가 상당한 것으로 분석되었다. 上記에서도 언급한 바와 같이 물리적 요인인 온도와 상대습도는 부유 미생물의 생존 및 증식 과정에 상호 복합적으로 영향을 줄 수 있기 때문에(Walter et al., 1990) 현장 조사 당시 외부의 온도 및 상대습도의 변화에 따라 돈사 내 총 부유미생물 농도가 달라질 수 있다. 또한 동일한 유형의 돈사라 하더라도 환기 시스템 운용 및 작업 환경 조건을 어떻게 조성하느냐에 따라 농도 변이가 심화될 것이라 판단된다.

(4) 결론

가스상 오염물질의 경우 분뇨 처리 방식 측면에서는 슬러리 돈사, 환기 방식 측면에서는 강제환기 방식의 돈사가 다른 유형의 돈사에 비해 암모니아와 황화수소의 내부 농도 및 발생량이 높은 것으로 조사되었다. 입자상 오염물질의 경우 총 분진과 호흡성 분진의 농도와 원단위 발생량은 다른 돈사 유형에 비해 자연환기 방식과 바닥 깔개로 톱밥이 적용되고 있는 개방형 톱밥 돈사에서 상대적으로 높게 나타난 반면, 슬랫(slat) 바닥 형태로 된 돈사가 대체로 낮은 것으로 조사되었다. 생물학상 오염물질의 경우 부유세균과 부유진균의 농도와 원단위 발생량은 분진의 경우와 동일하게 자연환기 방식이 적용되는 톱밥 돈사에서 상대적으로 높게 나타난 반면, 슬랫(slat)형태의 바닥을 구성하고 있는 돈사가 대체로 낮은 것으로 조사되었다.

2. 돈사내 공기오염물질 제어를 위한 공기정화기 제작 및 개발

가. 공기정화기의 가동 원리 (<그림 5>와 <그림 6> 참조)

(1) “Micro Plasma를 방전시켜 원자상의 활성수소(H)와 산소이온(O₂⁻) 생성”

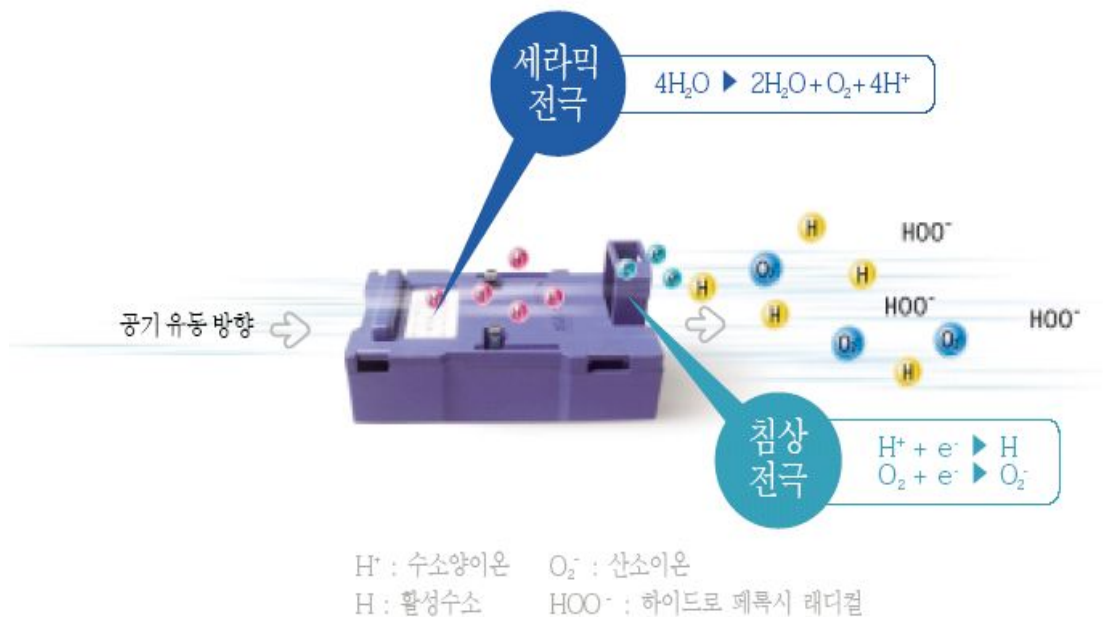
(가) 세라믹 전극(+ 전극) : Micro Plasma 방전으로 공기 중의 수분을 분해하여 수소양이온(H⁺)을 발생

(나) 침상 전극(- 전극) : 고전압 전자 방사에 의해 산소이온(O₂⁻) 생성과 함께 전극 표면의 전자가 +전극에서 발생한 수소양이온(H⁺)과 반응하여 활성수소(H) 생성

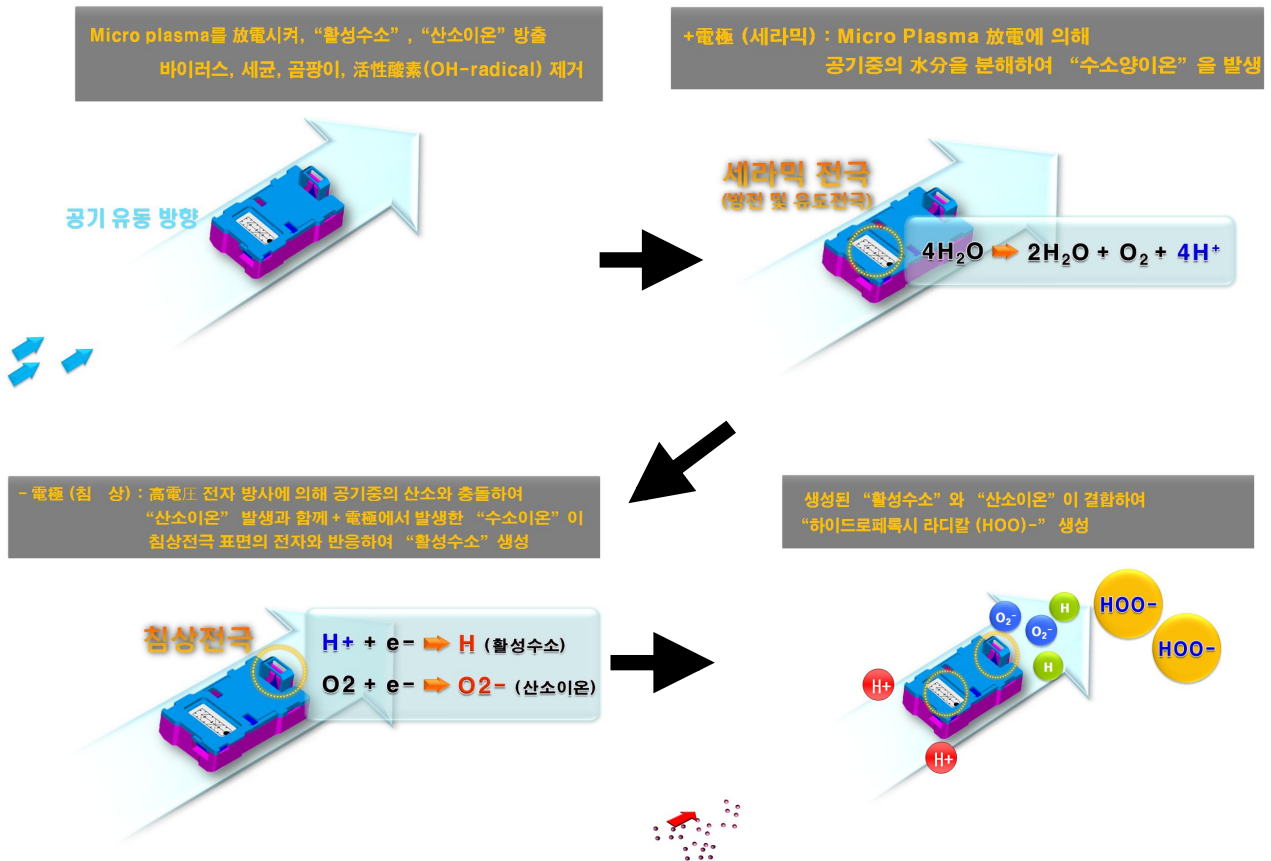
(다) 생성된 활성수소(H)와 산소이온(O₂⁻)이 결합하여 하이드로페록시 라디칼(HOO⁻) 생성



<그림 5> 본 공기정화기에 적용된 마이크로 플라즈마의 실제 모습



(a) 작동 개요



(b) 작동 메커니즘

<그림 6> 본 연구에서 제작된 공기정화기의 작동 개요 및 메커니즘

나. 공기정화기의 작용 기작 (<그림 7> 참조)

(1) 부유 미생물 (바이러스, 세균, 곰팡이)에 대한 제균 메커니즘

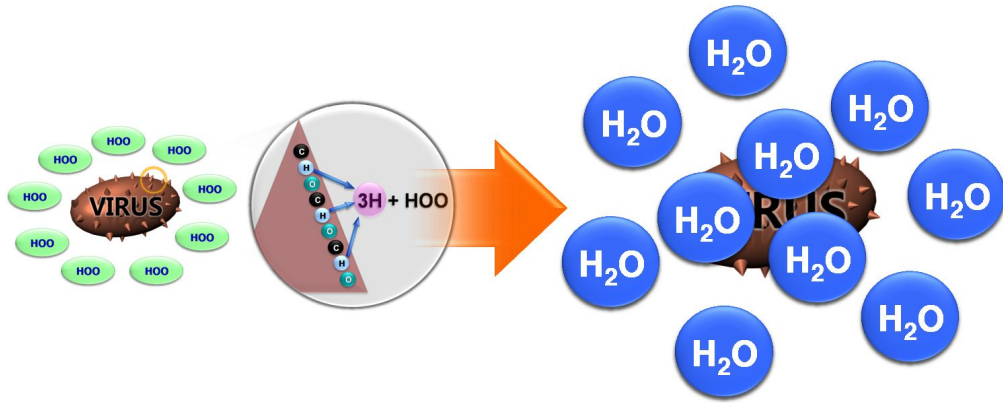
: “하이드로페록시 라디칼(HOO⁻)이 공기 중 부유하는 유해물질을 포위하여 흡착한 후, 단백질 구조의 수소 결합을 파괴하여 제균”

(가) 하이드로페록시 라디칼(HOO⁻)이 부유하는 미생물을 포위

☞ HOO⁻는 +전하를 띤 부유하는 오염물질(바이러스, 세균, 곰팡이 등)을 포위

(나) 하이드로페록시 라디칼(HOO⁻)이 부유미생물 표면에 있는 단백질 구조의 수소결합을 파괴하여 제균

☞ 부유미생물 중, 특히 바이러스 표면에 있는 단백질 성분 중의 수소와 반응한 하이드로페록시 라디칼(HOO⁻)은 수분화되어 공기 중으로 돌아가고 바이러스는 표면 균열에 의해 제균



<그림 7> 본 연구에서 제작된 공기정화기의 공기 중 바이러스 제거 원리

(2) 활성산소(OH-radical)에 대한 중화 메커니즘

: “발생된 활성수소(H)들이 돈사 실내공기 중 독성과 산화력이 강한 활성산소(OH-radical)와 결합하여 돼지에 무해하도록 중화”

(가) 활성산소(OH-radical)

☞ 활성산소중 가운데 가장 산화력이 강한 물질로 노출시 피부 질병의 원인이 되며, 공기 중 VOC(휘발성 유기화합물)의 유해물질과 반응해 생기는 화합물이 돼지 호흡기계에 악영향을 줄 가능성 내포

(나) 본 연구를 통해 개발된 공기정화기에서 발생하는 활성수소(H)가 활성산소(OH-radical)와 반응하여 무독성 수분상태로 전환 유도

☞ 검증 실험 결과, 실내공기 중 활성산소 농도를 70% 감소시키는 효과가 관찰됨

다. 집진 장비의 보완

(1) 여타 다른 시설에 비해 실내공기 중 분진농도가 상대적으로 높은 돈사환경을 고려하여 부가적인 집진 장비를 공기정화기 전단에 부착하여 제균 성능을 극대화

▶ 양돈 농가의 경제적 현실을 고려하고 농장주의 관리 용이를 위해 수세식 필터를 선정하여 적용



<그림 8> 집진 장비가 보조적으로 부착된 본 공기정화기의 실제 모습

3. Chamber Test를 통한 개발된 공기정화기의 제균 능력 사전 평가

가. 공기정화기의 작동 안전성 평가를 위한 Lab. Test

측정항목	측정값	측정조건			
		측정시간	챔버		
			용적	온도	상대습도
이온수	120만개/cc	1시간	2.75m ³	25℃	50%
오존량	10ppb 이하	24시간			

- ▶ 활성수소의 높은 발생 정도와 일정한 배출 양상이 측정되었다.
- ▶ 돼지 호흡기계에 무해한 매우 낮은 수준의 오존 발생량이 측정되었다.

나. 공기정화기의 제균 능력 평가를 위한 Lab. Test

(1) 연구 방법

(가) 실험 설계

2.75m³ (1.92m × 0.94m × 1.52m)의 용적을 지닌 공기순환용 챔버를 제작하여 이를 Lab. test 설비로 이용하였다 (<그림 9-a> 참조). 측정대상 개별 미생물의 stock solution (<그림 9 -b> 참조)을 400ml로 제조하여 Collision nebulizer (BGI Inc., MA, USA)에 투입한 후 6 l/min 유량으로 설정된 공기 펌프로 각 용액을 에어로졸화하는 동시에 HEPA 필터 처리된 30 l/min 용량의 희석 공기를 첨가하여 챔버 안으로 분사하는 방법으로 초기 농도를 조성하였다. 각 측정대상 미생물의 초기 부유 농도는 시간 경과에 따른 공기청정기의 제거 효율성을 지속적으로 평가한다는 측면에서 최대한 높게 유지하고자 하였으며(>10⁵ cfu/m³ 또는 pfu/m³), 이러한 농도에 도달하기 위해 소요되는 분사 시간은 약 15-20분 정도였다. 동일한 실험 조건을 유지하기 위해 챔버내 온도와 상대습도는 각각 25℃와 50%를 일정하게 하였다.



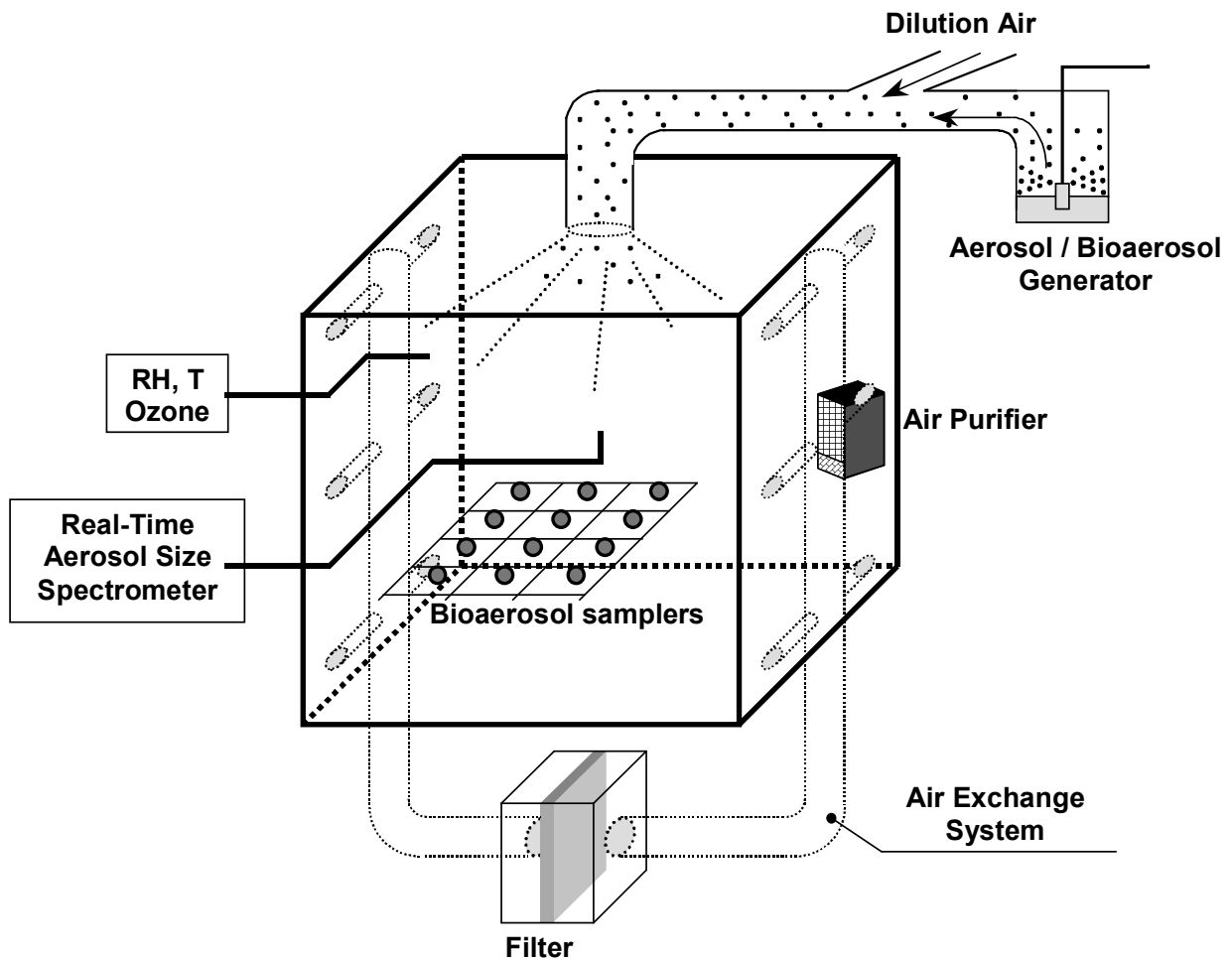
(a)

(b)

<그림 9> 실험 챔버 사진(a)과 실험 대상 미생물 표준시료(b)

(나) 시료 채취 및 분석

시료 채취 지점은 챔버 바닥으로부터 1.5m 떨어진 상부 지점으로, 부유 미생물 채취에 가장 최적의 여과지로 보고된 gelatin filter가 장착된 button sampler (SKC Inc., OH, USA) 12개를 설치한 후, 각각에 대해 6ℓ/min 유량의 공기 펌프를 튜브로 연결하였다 (<그림 10> 참조). 각 측정대상 미생물에 대한 공기정화기의 경시적 제거 효율을 측정하기 위해 시료 채취 시점을 분사 후 초기 농도, 20분, 40분, 60분으로 설정하였고, 각 측정 시점당 3개의 button sampler를 할당하여 5분간 포집하였다. 채취 완료 후에는 button sampler를 미생물 분석실로 운반하여 gelatin filter를 PCB 용액에 원심분리 방법으로 탈착시킨 후 각 미생물 분석에 해당되는 배지에 접종 후 배양하여 계수 방법을 통해 측정 농도를 산출하였다.



<그림 10> 챔버 실험 모식도

(다) 제거 효율 지표

본 공기정화기의 각 부유미생물에 대한 제거 효과를 산출하기 위한 지표로 ACF (Air Cleaning Factor)를 활용하였다. 본 지표는 환기에 의한 외부 공기 유입이 차단된 챔버

조건하에서 공기정화기의 부유 미생물에 대한 제거 효율성을 나타내기 위해 이용되었다. 공기정화기를 배제한 상태에서 중력에 의해 자연 침강되어 감소된 부유 미생물의 농도 ($C_{Natural}$)에 대한 공기정화기의 가동을 통해 감소된 부유 미생물의 농도 (C_{AP})의 비율로, 각 실험마다 초기 농도 수치가 다르기 때문에 실제 측정된 농도 값이 아닌 경과 시간에 따른 농도(C_t)와 초기 농도(C_0)의 비율을 나타내준다. 따라서 본 지표의 산출식은 아래와 같다.

$$ACF = \frac{(C_t / C_0)_{Natural}}{(C_t / C_0)_{AP}}$$

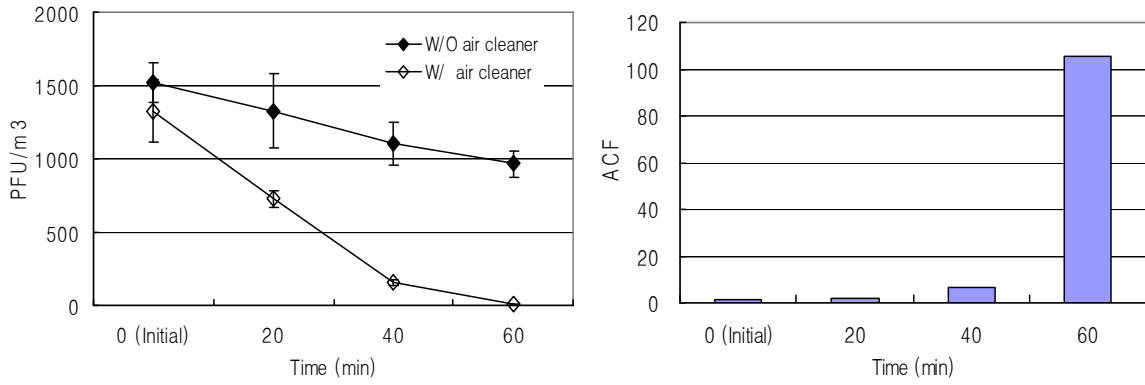
(라) 측정 항목

- 인플루엔자 A형 바이러스
- 코로나 바이러스
- MRSA (Methicillin-resistant Staphylococcus aureus; 항생제 내성 병원감염균)
- 황색포도상구균
- 대장균

(2) 연구 결과 및 고찰

(가) 인플루엔자 A형 바이러스

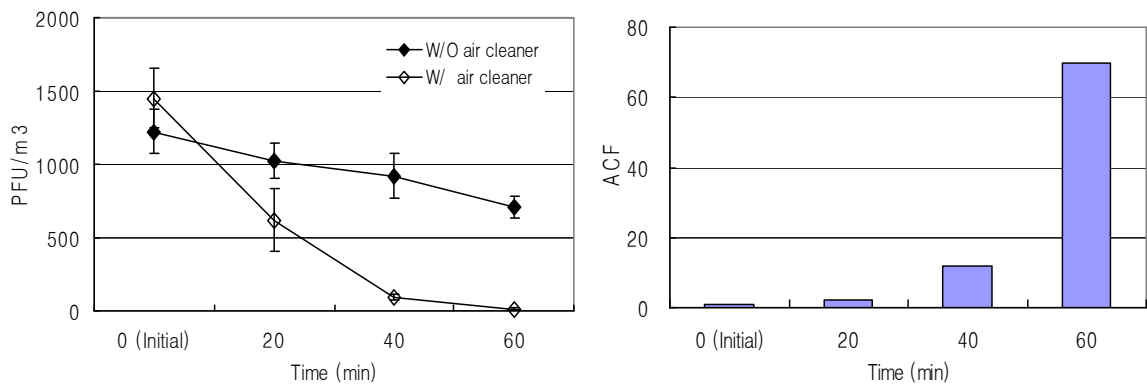
<그림 11>은 chamber test를 통해 본 공기정화기의 인플루엔자 A형 바이러스에 대한 경시적 제거 효율을 미가동시의 저감율과의 상대적 비교(<그림 11-a>)와 이에 따른 ACF 산출(<그림 11-b>)로써 보여주는 것이다. 공기정화기가 가동되지 않은 대조구의 경우 초기 농도에 비해 20분 후 12.5%, 40분 후 27.2%, 60분 후 36.5%의 자연 저감율을 나타낸 반면, 공기정화기가 가동된 실험구의 경우 초기 농도 대비 20분 후 45.3%, 40분 후 88.4%, 60분 후 99.4%의 제거 효율을 보였다. 공기정화기의 가동 효율성을 나타내주는 ACF의 경우 20분 후 1.6, 40분 후 6.3, 60분 후 105.2로 산출되어 가동 후 시간이 경과될수록 높은 효율 지수를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 인플루엔자 A형 바이러스는 본 공기정화기가 가동 후 1시간이 경과되면 약 99% 이상이 공기 중에서 사멸됨을 알 수 있었다.



(a) (b)
 <그림 11> 인플루엔자 A 바이러스에 대한 본 공기정화기의 경시적 저감 효율(a) 과 ACF(b)

(나) 코로나 바이러스

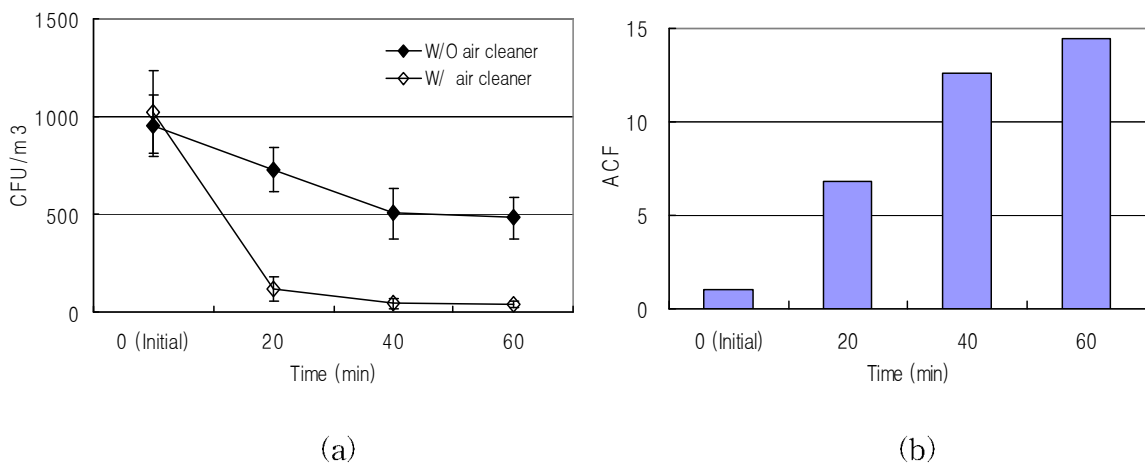
<그림 12>는 chamber test를 통해 본 공기정화기의 코로나 바이러스에 대한 경시적 제거 효율을 미가동시의 저감율과의 상대적 비교(<그림 12-a>)와 이에 따른 ACF 산출(<그림 12-b>)으로써 보여주는 것이다. 공기정화기가 가동되지 않은 대조구의 경우 초기 농도에 비해 20분 후 16.1%, 40분 후 24.9%, 60분 후 42.3%의 자연 저감율을 나타낸 반면, 공기정화기가 가동된 실험구의 경우 초기 농도 대비 20분 후 57.4%, 40분 후 93.7%, 60분 후 99.2%의 제거 효율을 보였다. 공기정화기의 가동 효율성을 나타내주는 ACF의 경우 20분 후 2.0, 40분 후 11.9, 60분 후 69.8로 산출되어 가동 후 시간이 경과될수록 높은 효율 지수를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 코로나 바이러스도 인플루엔자 A형 바이러스의 경우와 마찬가지로 공기정화기가 가동 후 1시간이 경과되면 약 99% 이상이 공기 중에서 사멸됨이 입증되었다.



(a) (b)
 <그림 12> 코로나 바이러스에 대한 본 공기정화기의 경시적 저감 효율(a) 과 ACF(b)

(다) MRSA (Methicillin-resistant Staphylococcus aureus; 항생제 내성 병원감염균)

<그림 12>는 chamber test를 통해 본 공기정화기의 MRSA에 대한 경시적 제거 효율을 미가동시의 저감율과의 상대적 비교(<그림 12-a>)와 이에 따른 ACF 산출(<그림 12-b>)으로써 보여주는 것이다. 공기정화기가 가동되지 않은 대조구의 경우 초기 농도에 비해 20분 후 23.6%, 40분 후 33.4%, 60분 후 49.3%의 자연 저감율을 나타낸 반면, 공기정화기가 가동된 실험구의 경우 초기 농도 대비 20분 후 88.8%, 40분 후 95.8%, 60분 후 96.5%의 제거 효율을 보였다. 공기정화기의 가동 효율성을 나타내주는 ACF의 경우 20분 후 6.8, 40분 후 12.6, 60분 후 14.4로 산출되어 上記 두 바이러스의 경우보다는 상대적으로 낮지만, 가동 후 시간이 경과될수록 대체로 양호한 효율 지수를 보이는 것으로 분석되었다. ACF 값이 인플루엔자 A형 바이러스나 코로나 바이러스보다 낮게 나타난 이유는 MRSA는 세균이므로 바이러스보다 입경이 크고 따라서 자체 질량 또한 크기 때문에 공기 중 분포시 중력에 의한 자연 침강율이 현저히 높기 때문이라 판단된다. 하지만 공기 중 제거를 위해 불리한 조건임에도 불구하고 MRSA는 공기정화기가 가동 후 1시간이 경과되면 약 96% 이상이 공기 중에서 사멸되는 것으로 조사되었다.

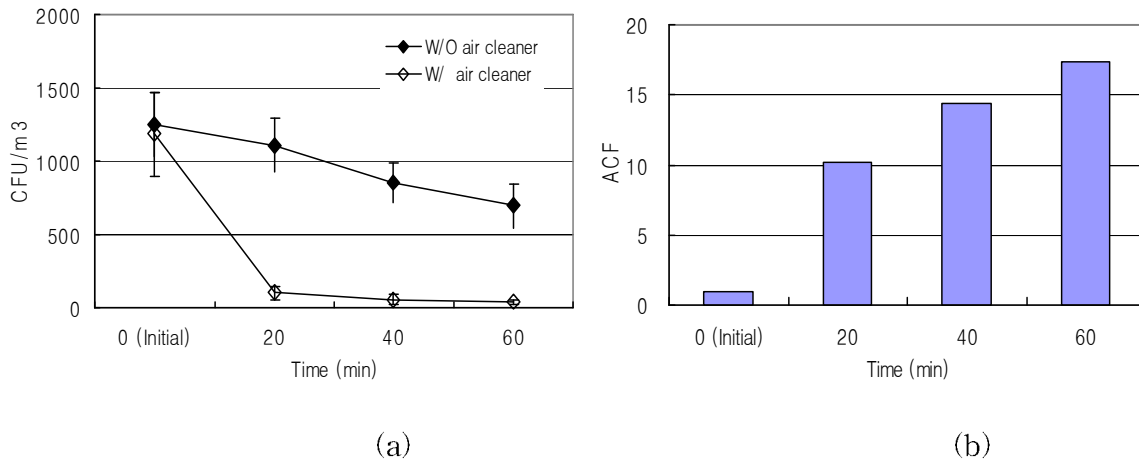


<그림 12> MRSA에 대한 본 공기정화기의 경시적 저감 효율(a) 과 ACF(b)

(라) 황색포도상구균

<그림 13>은 chamber test를 통해 본 공기정화기의 황색포도상구균에 대한 경시적 제거 효율을 미가동시의 저감율과의 상대적 비교(<그림 13-a>)와 이에 따른 ACF 산출(<그림 13-b>)으로써 보여주는 것이다. 공기정화기가 가동되지 않은 대조구의 경우 초기 농도에 비해 20분 후 11.4%, 40분 후 31.8%, 60분 후 44.5%의 자연 저감율을 나타낸 반면, 공기정화기가 가동된 실험구의 경우 초기 농도 대비 20분 후 91.3%, 40분 후 95.3%, 60분 후 96.8%의 제거 효율을 보였다. 공기정화기의 가동 효율성을 나타내주는 ACF의 경우 20분 후 10.2, 40분 후 14.4, 60분 후 17.3으로 산출되어 MRSA의 경우와 유사한 양상으로 분석되었다. 황색포도상구균도 MRSA와 같이 세균의 형태로 바이러스보다 자체 질량이 크기 때문에 중력에 의한 자연

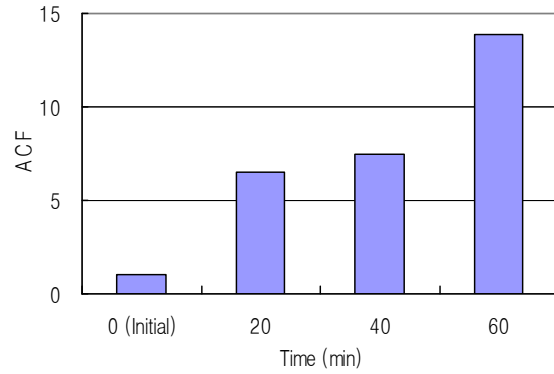
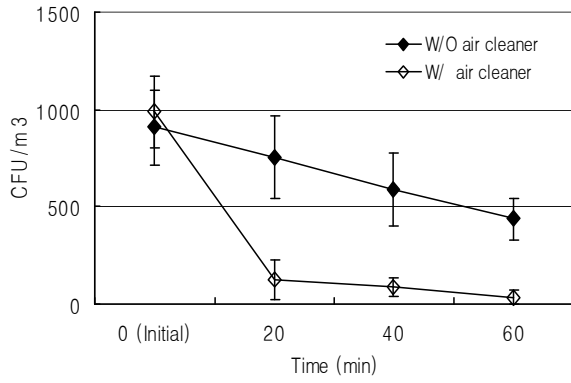
침강율이 상대적으로 높고 이러한 이유로 공기정화기 가동 후 처음 측정 시점인 20분에서 90% 이상의 높은 제거 효율에 도달한 것으로 사료된다. 결론적으로 황색포도상구균은 공기정화기가 가동 후 1시간이 경과되면 약 96% 이상이 공기 중에서 사멸되는 것으로 분석되었다.



<그림 13> 황색포도상구균에 대한 본 공기정화기의 경시적 저감 효율(a) 과 ACF(b)

(마) 대장균

<그림 14>는 chamber test를 통해 본 공기정화기의 대장균에 대한 경시적 제거 효율을 미가동시의 저감율과의 상대적 비교(<그림 14-a>)와 이에 따른 ACF 산출(<그림 14-b>)으로써 보여주는 것이다. 공기정화기가 가동되지 않은 대조구의 경우 초기 농도에 비해 20분 후 17.4%, 40분 후 35.3%, 60분 후 52.1%의 자연 저감율을 나타낸 반면, 공기정화기가 가동된 실험구의 경우 초기 농도 대비 20분 후 87.3%, 40분 후 91.3%, 60분 후 96.6%의 제거 효율을 보였다. 공기정화기의 가동 효율성을 나타내주는 ACF의 경우 20분 후 6.5, 40분 후 7.4, 60분 후 13.9로 산출되어 가동 후 시간 경과에 따라 높아지는 것으로 분석되었다. 대장균도 MRSA와 황색포도상구균과 같이 세균이기 때문에 중력에 의한 자연 침강율이 바이러스보다 상대적으로 높았고, 공기정화기 가동 후 두 번째 측정 시점인 40분에서 90% 이상의 높은 제거 효율에 도달한 것으로 사료된다. 결론적으로 대장균은 공기정화기가 가동 후 1시간이 경과되면 약 96% 이상이 공기 중에서 사멸되는 것으로 분석되었다.



(a)

(b)

<그림 14> 대장균에 대한 본 공기정화기의 경시적 저감 효율(a) 과 ACF(b)

(3) 결론

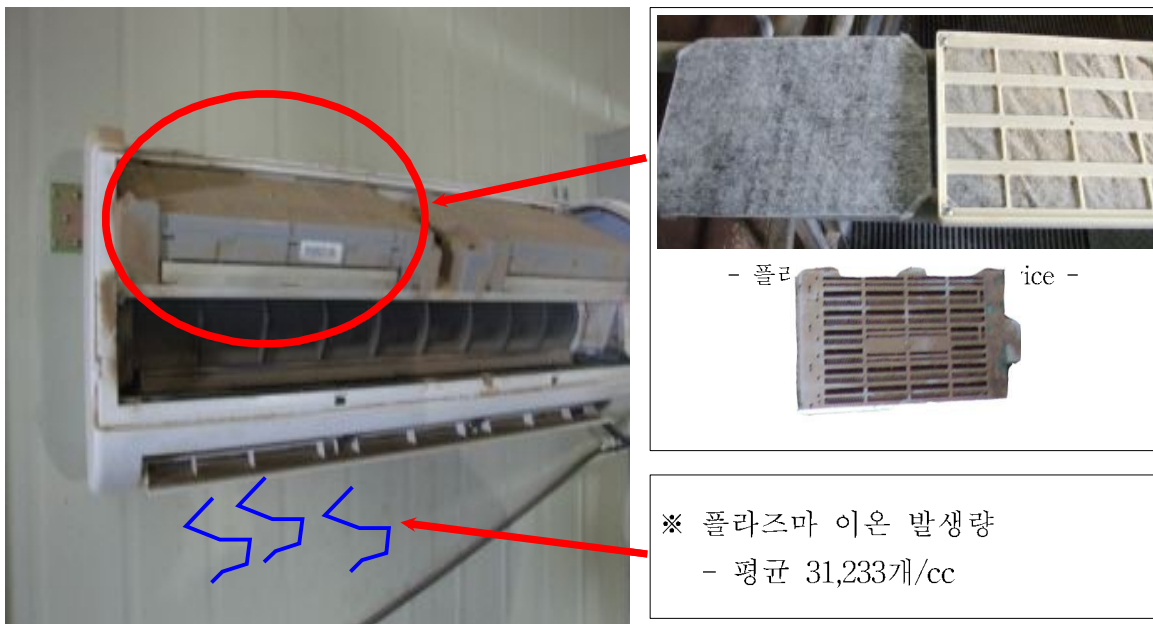
▶ 공기정화기의 제균 성능 평가를 위한 chamber test의 연구 결과는 다음과 같다.

측정 대상 부유미생물	제거 효율 (공기정화기 가동 1시간 경과 후)
- 인플루엔자 A형 바이러스	99.2% 제거
- 코로나 바이러스	99.2% 제거
- MRSA	96.5% 제거
- 황색포도상구균	96.8% 제거
- 대장균	96.6% 제거

제 2 절 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돈사내 공기오염물질 저감 효율 현장 실증평가 (2차년도)

1. 돈사 현장 적용 실증 평가를 위한 공기정화기의 제작 및 설치

가정용 벽걸이 에어컨을 개조하여 공기정화기 시료를 제작하였다. 본 공기정화기 시료의 구성 요소는 플라즈마 이온을 방출하기 위한 Device 2개와 산업용 수세식집진기를 접목함과 동시에 공기정화기 Device 보호용으로 적용하였다 (<그림 15>와 <그림 16> 참조).



<그림 15> 실험돈사 내부 측벽에 설치된 공기정화기의 모습



<그림 16> 공기정화기의 제작 및 실험 돈사 내부 설치 모습

2. 돈사 유형별/계절별 공기오염물질 저감 효율성 평가를 통한 측정 데이터의 작성

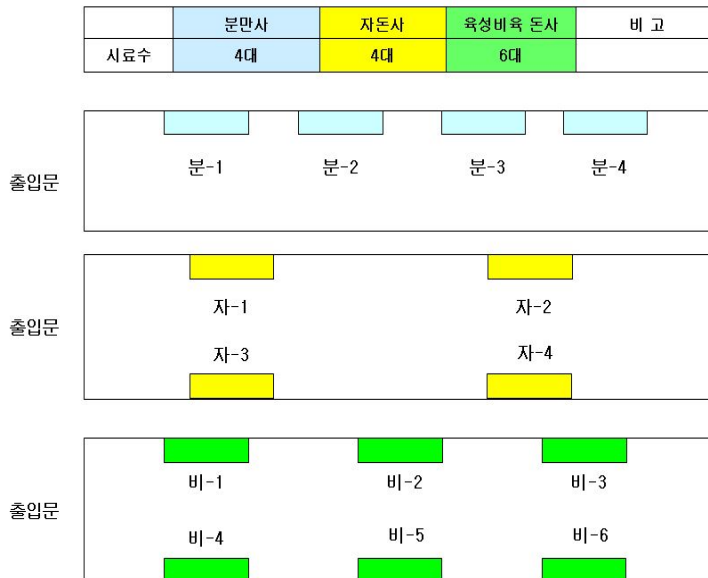
가. 실험 장소의 선정

제주 지역에 위치한 밀폐형 강제환기 슬러리 돈사 1개소를 선정하여 현장 실증 평가를 수행하였다. 평가 대상 돈사 유형은 임신/분만사, 자돈사, 육성/비육돈사 3곳으로 하여 돼지 사육밀도에 따른 돈방 내부 면적 기준과 공기정화기의 처리용량을 동시에 고려하여 실험군의 경우 임신/분만사는 측벽에 4대, 자돈사는 양 측벽에 각 2대(총 4대), 육성/비육돈사는 양 측벽에 각 3대(총 6대)를 설치하였다. 대조군은 비교군 바로 옆에 위치한 동일한 제원의 돈방으로 공기정화기가 설치되지 않고 관행적으로 사양 관리를 진행하였다 (<그림 17>과 <그림 18> 참조).



<그림 17> 실험 돈사 내외부 전경도

돈사 시료설치 현황



- 임신/분만사 (H:3m×W:10m×L:13m) : 측벽에 4대 설치
- 자돈사 (H:4.5m×W:12m×L:20m) : 양 측벽에 각 2대 설치 (총 4대)
- 육성/비육돈사 (H:4.5m×W:12m×L:20m) : 양 측벽에 3대 설치 (총 6대)

<그림 18> 실험 돈사내 공기청정기 설치 배치도

나. 측정 방법

각 돈사 유형별로 공기정화기가 설치된 돈방(실험군)과 설치되지 않은 돈방(대조군)을 대상으로 측정 지점과 시점을 동일하게 하여 공기오염물질을 모니터링하였다 (<표 8> 참조). 측정 지점은 돈방 중앙 복도에서 지면으로부터 1m 상부 지점으로 하였고, 측정 시점은 공기정화기 가동 전 (0h), 가동 후 1시간 (1h), 6시간 (6h), 12시간 (12h), 24시간 (24h)으로 하여 공기오염물질의 경시적 농도 변화 양상을 측정하였다. 측정 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 현장 조사시 5회 이상 반복 측정의 평균값을 대표치로 하였다. 또한 계절에 따른 영향도 동시에 평가하기 위해 봄철 (3-5월), 여름철 (6-8월), 가을철 (9-11월), 겨울철 (12-2월)로 구분하여 현장 조사를 수행하였다.

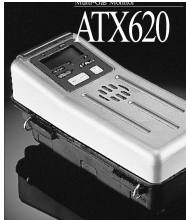
Table 8. Experimental design according to types of pig housing room

		제원	돼지 입식수	돈사 종류	공기정화기 설치유무
임신/분만돈사	대조군	130m ² (H:3m×W:10m×L:13m)	1개 시설당 9~11두 1실(室) 당 20마리		×
	실험군				○ (4대)
자돈사	대조군	240m ² (H:4.5m×W:12m×L:20m)	1개 시설당 15마리 1실(室) 당 60마리	무창 강제환기 슬러리 돈사	×
	실험군				○ (4대)
육성/비육돈사	대조군	240m ² (H:4.5m×W:12m×L:20m)	1개 시설당 15마리 1실(室) 당 60마리		×
	실험군				○ (6대)

다. 측정 항목

본 연구에서 평가된 공기오염물질의 측정 장비 및 방법은 다음과 같고, 현장 측정 사진은 <그림 19>와 같다.

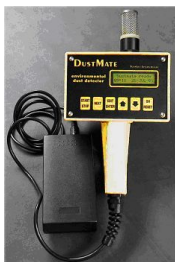
▶ 가스상 물질



제품명 :
ATX620
제조사 :
Industrial
Scientific
Corporation

측정 항목	측정범위		측정조건
	Low	High	
NH ₃	1PPM	20PPM	주간 작업시간 8hr/Day
H ₂ S	0.1PPM	20PPM	
SO ₂	2.0PPM	4.0PPM	
NO ₂	3.0PPM	6.0PPM	

▶ 입자상 물질



제품명 :
Dust mate
제조사 :
U.S.A

측정 항목	측정방식	측정범위	측정조건
TSP	광산란 직독식	0~6000 μ g/m ³	24hr/day 5min마다 Monitoring
PM ₁₀			
PM _{2.5}			
PM ₁			

▶ 생물학상 물질



제품명 :
M.A.Q.S II
제조사
Oxoid

측정 항목	배지	측정조건
부유세균	TSA (Tryptic Soy Agar)	1min/120L
부유진균	SDAC (Sabouraud dextrose agar+Chloramphenicol)	3min/360L



- 가스상 오염물질 -



- 입자상 오염물질



- 생물학상 오염물질 -

<그림 20> 돈사 내부의 공기오염물질 현장 측정 모습

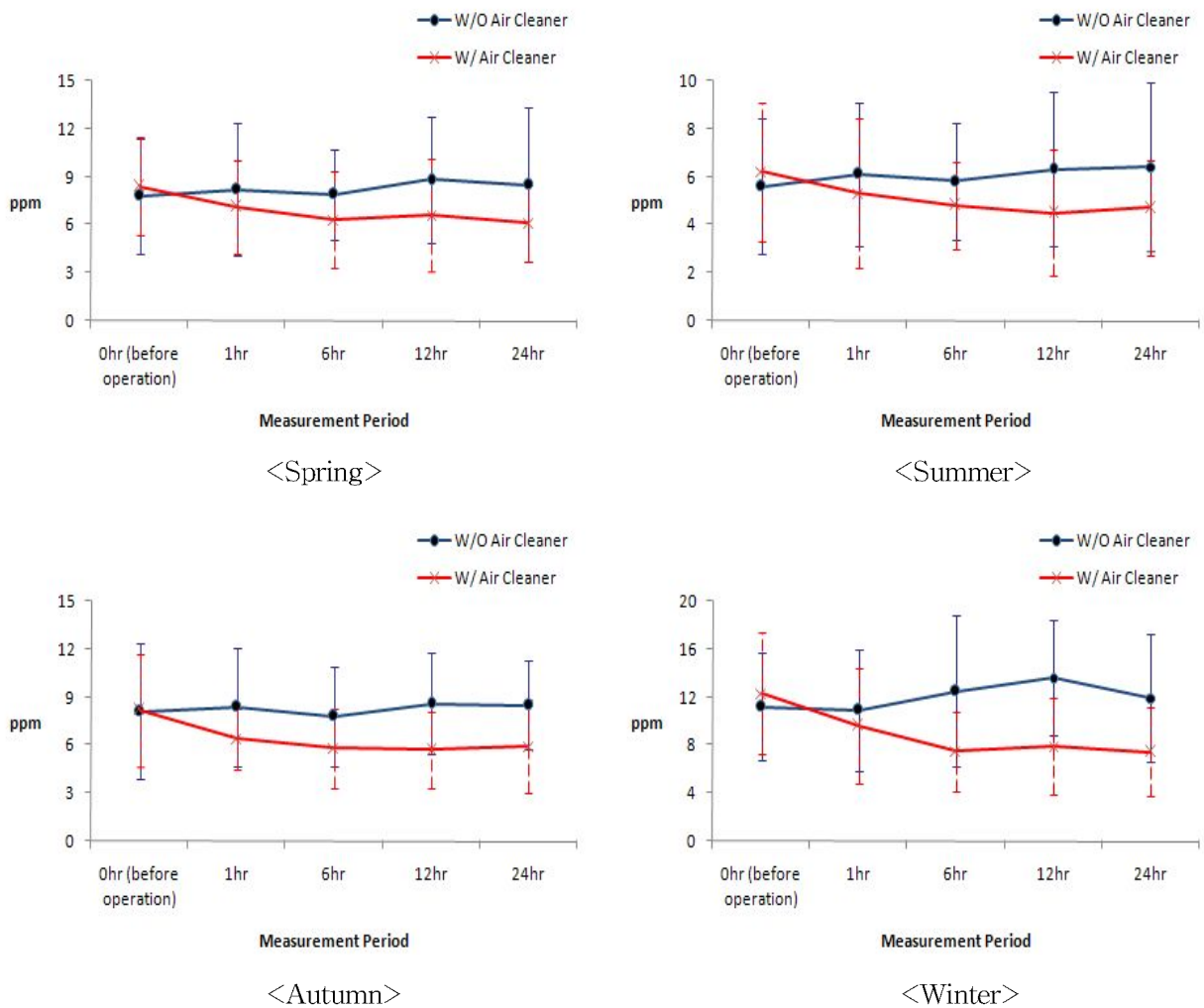
라. 실험 결과 및 고찰

(1) 임신/분만돈사 (gestation/farrowing room)

(가) 가스상 오염물질

① 암모니아 (NH₃)

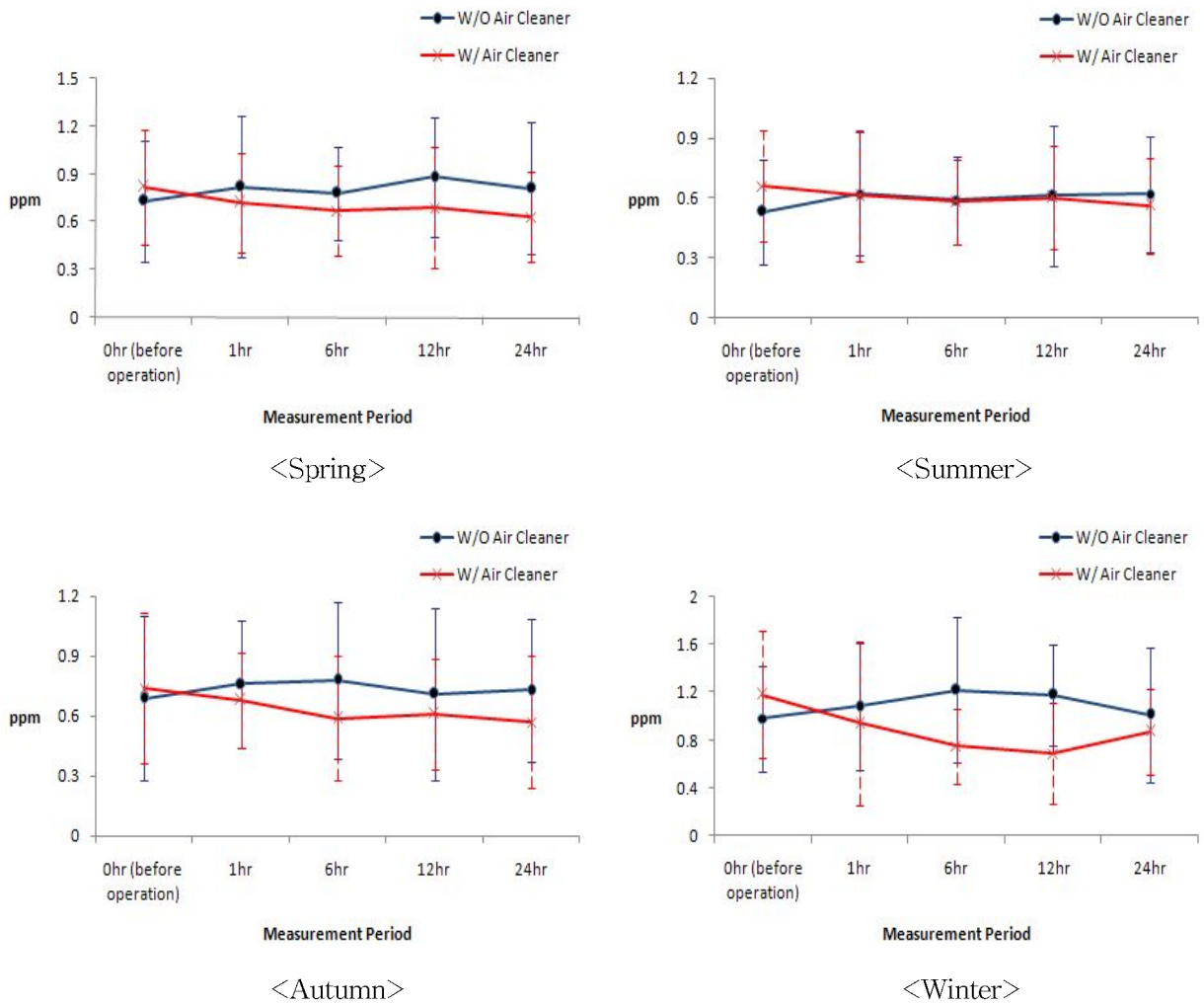
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 31%, 여름철은 20%, 가을철은 33%, 겨울철은 42%인 것으로 나타났다 (<그림 20> 참조). 분석 결과 암모니아에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 20> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 암모니아 농도의 경시적 비교

② 황화수소 (H₂S)

공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 18%, 여름철은 9%, 가을철은 15%, 겨울철은 26%인 것으로 나타났다 (<그림 21> 참조). 분석 결과 암모니아의 경우와 동일하게 황화수소에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.

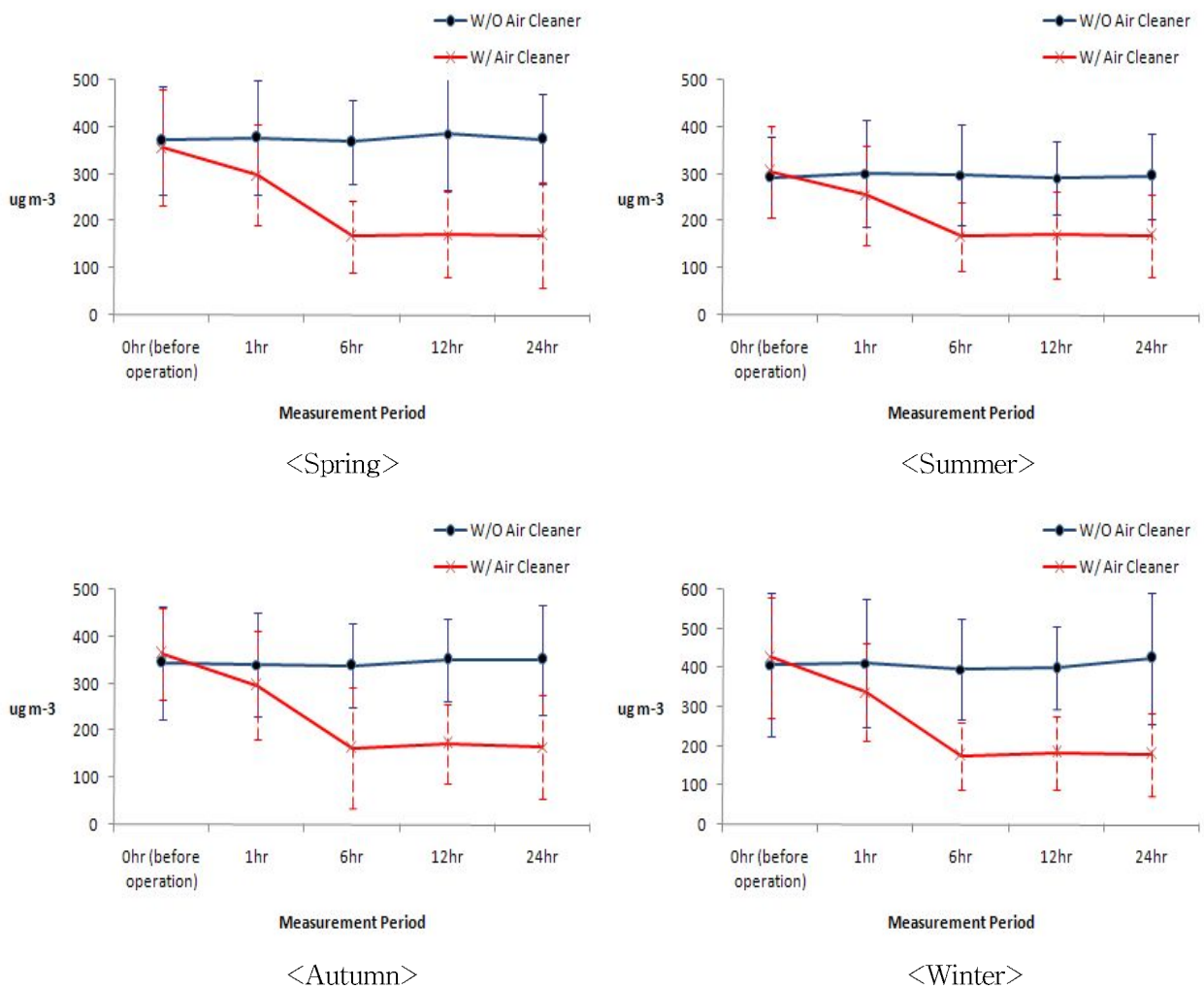


<그림 21> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 황화수소 농도의 경시적 비교

(나) 입자상 오염물질

① 총부유분진 (TSP)

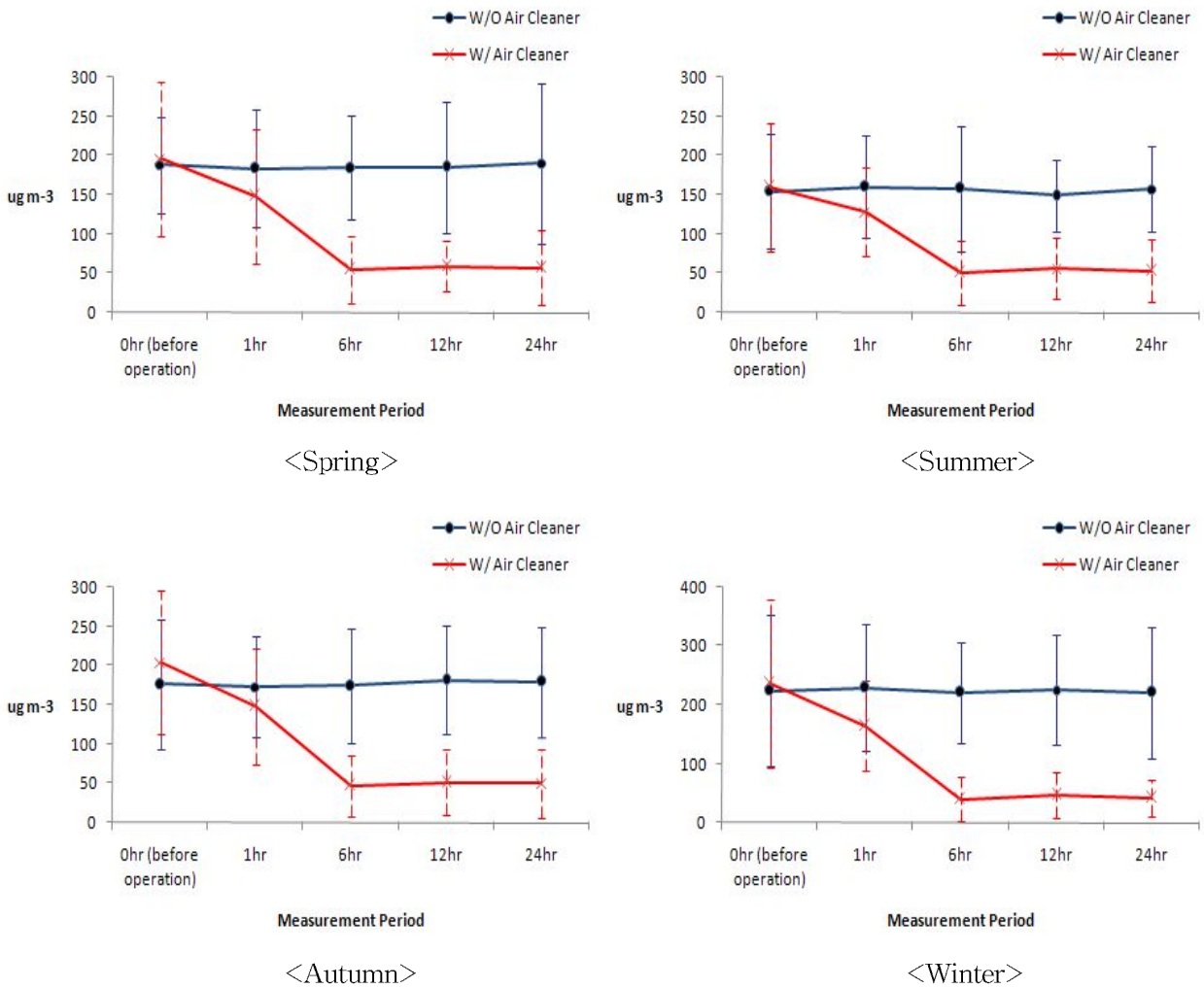
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 53%, 여름철은 45%, 가을철은 55%, 겨울철은 59%인 것으로 나타났다 (<그림 22> 참조). 분석 결과 TSP에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 22> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유분진(TSP) 농도의 경시적 비교

② 미세먼진 (PM₁₀)

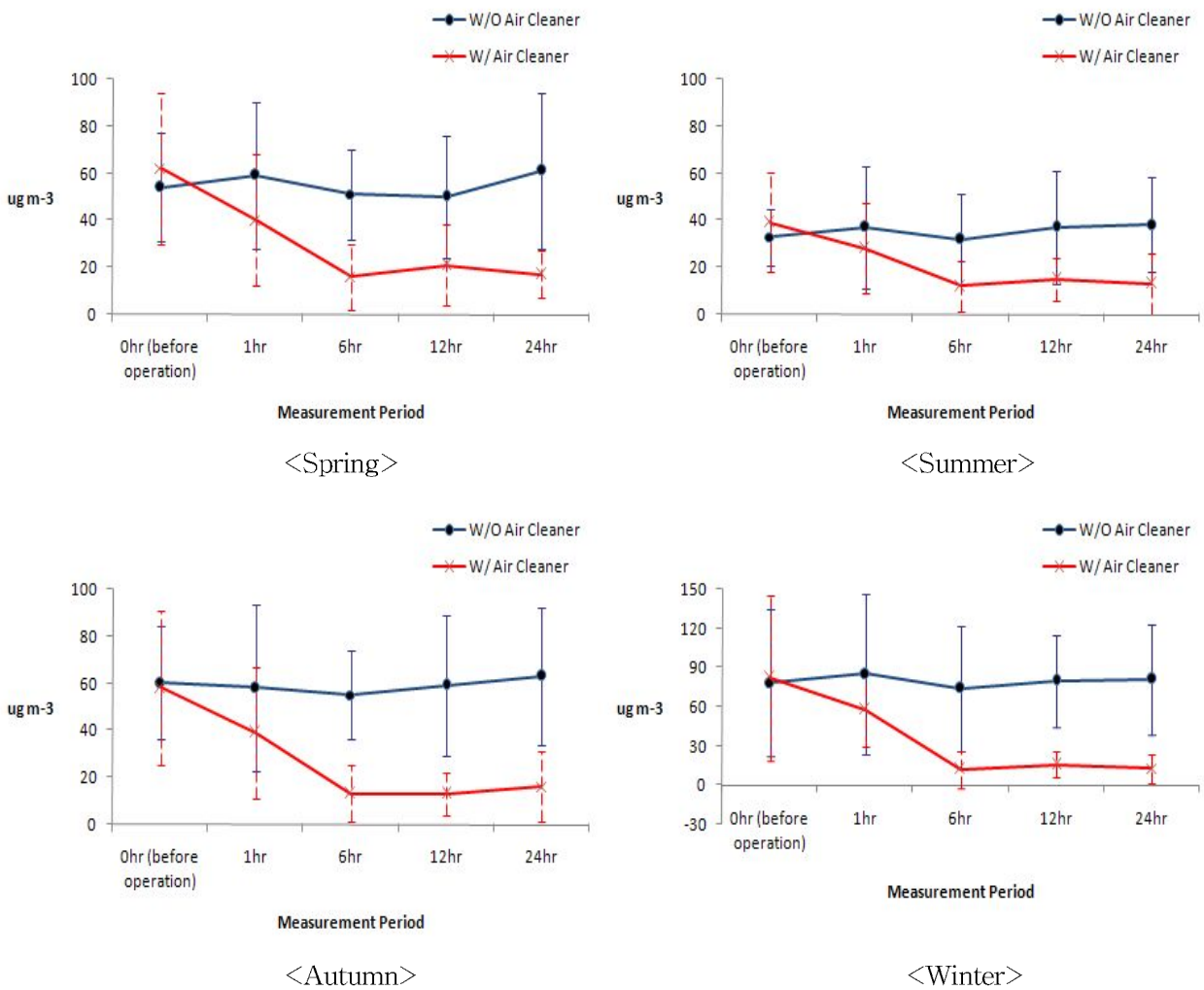
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 72%, 여름철은 68%, 가을철은 77%, 겨울철은 83%인 것으로 나타났다 (<그림 23> 참조). 분석 결과 TSP의 경우와 동일하게 PM₁₀에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 23> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 미세먼진 (PM₁₀) 농도의 경시적 비교

③ 극미세분진 (PM_{2.5})

공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 74%, 여름철은 70%, 가을철은 78%, 겨울철은 86%인 것으로 나타났다 (<그림 24> 참조). 분석 결과 TSP와 PM₁₀의 경우와 동일하게 PM_{2.5}에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.

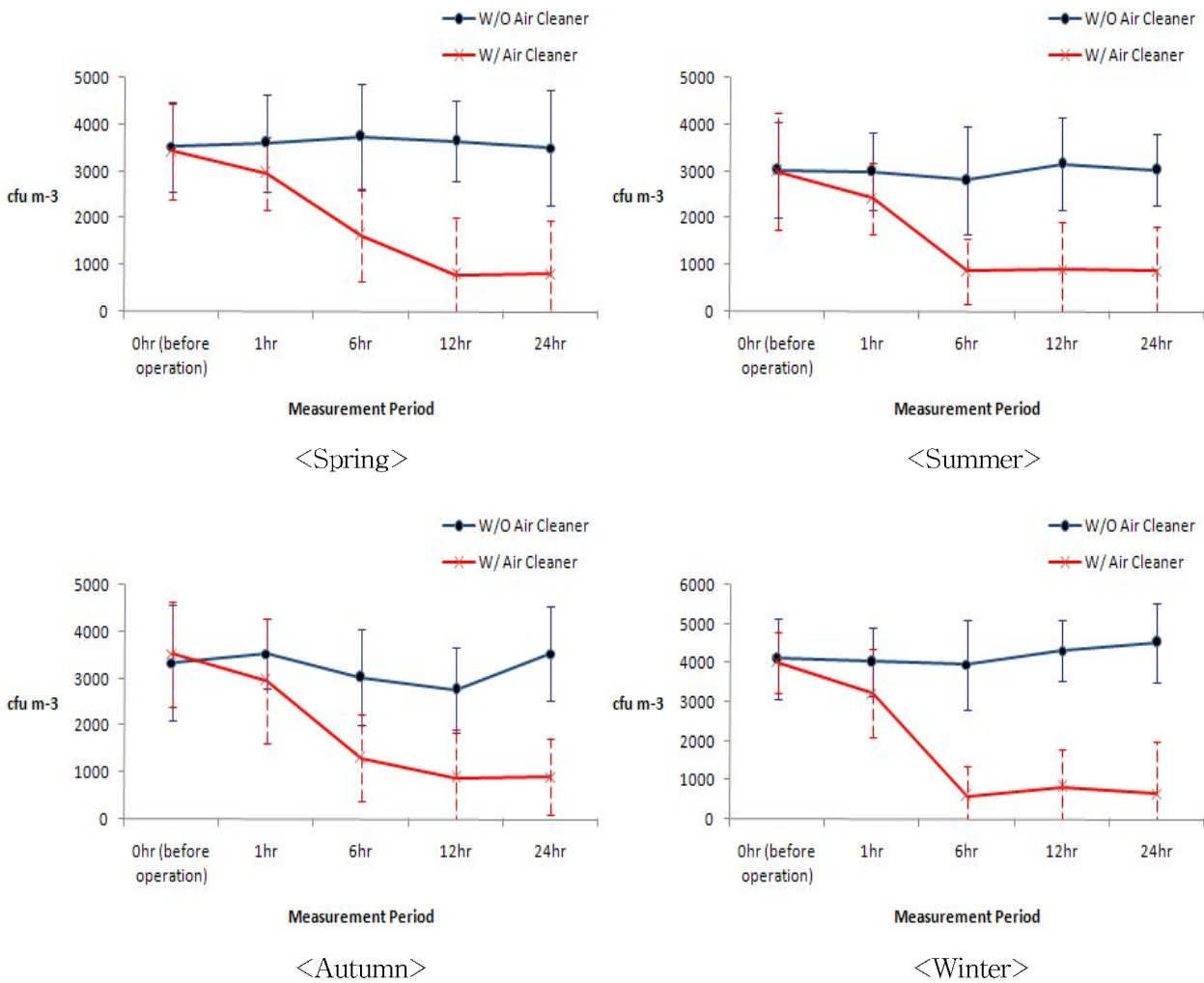


<그림 24> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 극미세분진 (PM_{2.5}) 농도의 경시적 비교

(다) 생물학적 오염물질

① 총부유세균 (Total airborne bacteria)

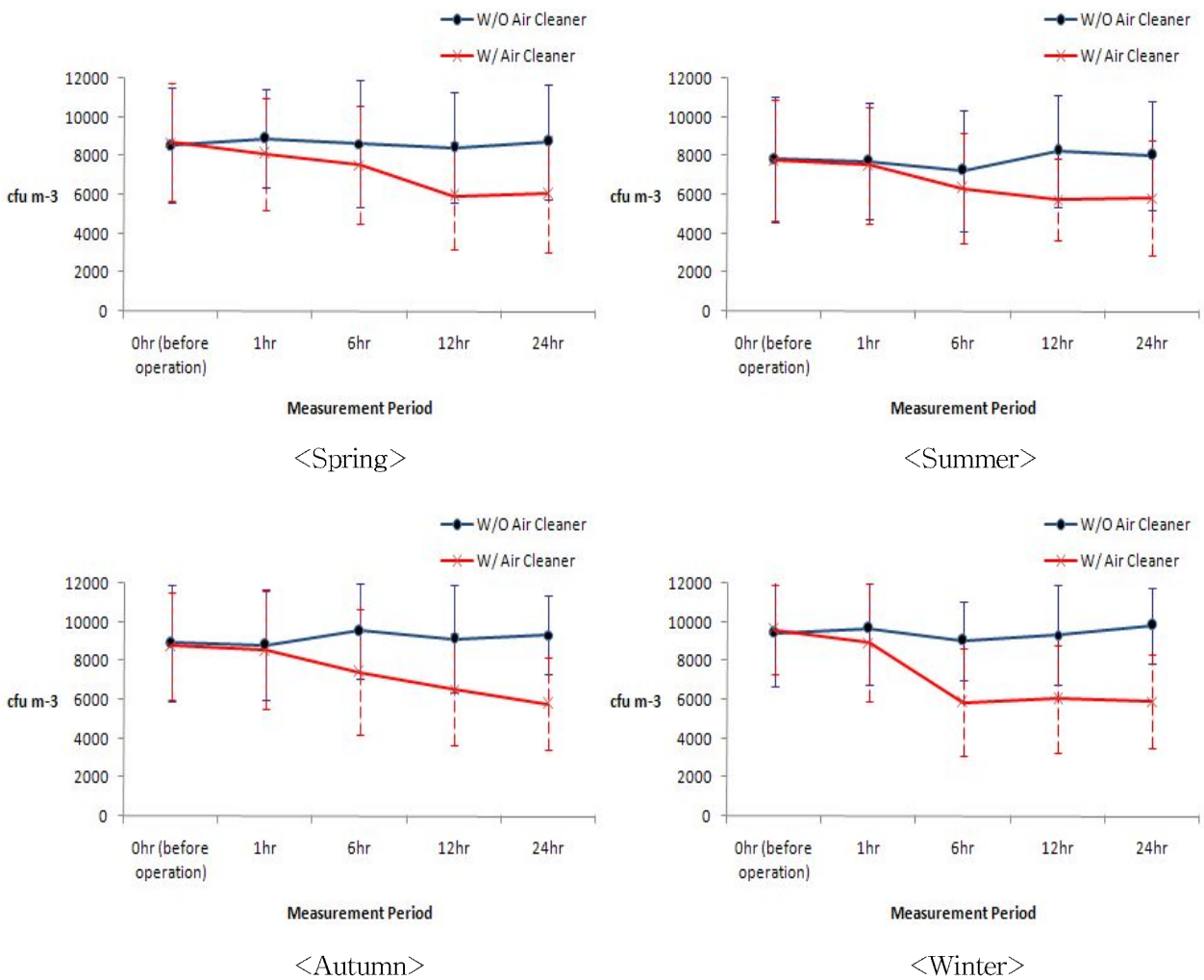
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 77%, 여름철은 71%, 가을철은 75%, 겨울철은 85%인 것으로 나타났다 (<그림 25> 참조). 분석 결과 총부유세균에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 25> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유세균 농도의 경시적 비교

② 총부유진균 (Total airborne fungi)

공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 64%, 여름철은 58%, 가을철은 69%, 겨울철은 72%인 것으로 나타났다 (<그림 26> 참조). 분석 결과 총부유세균의 경우와 동일하게 총부유진균에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



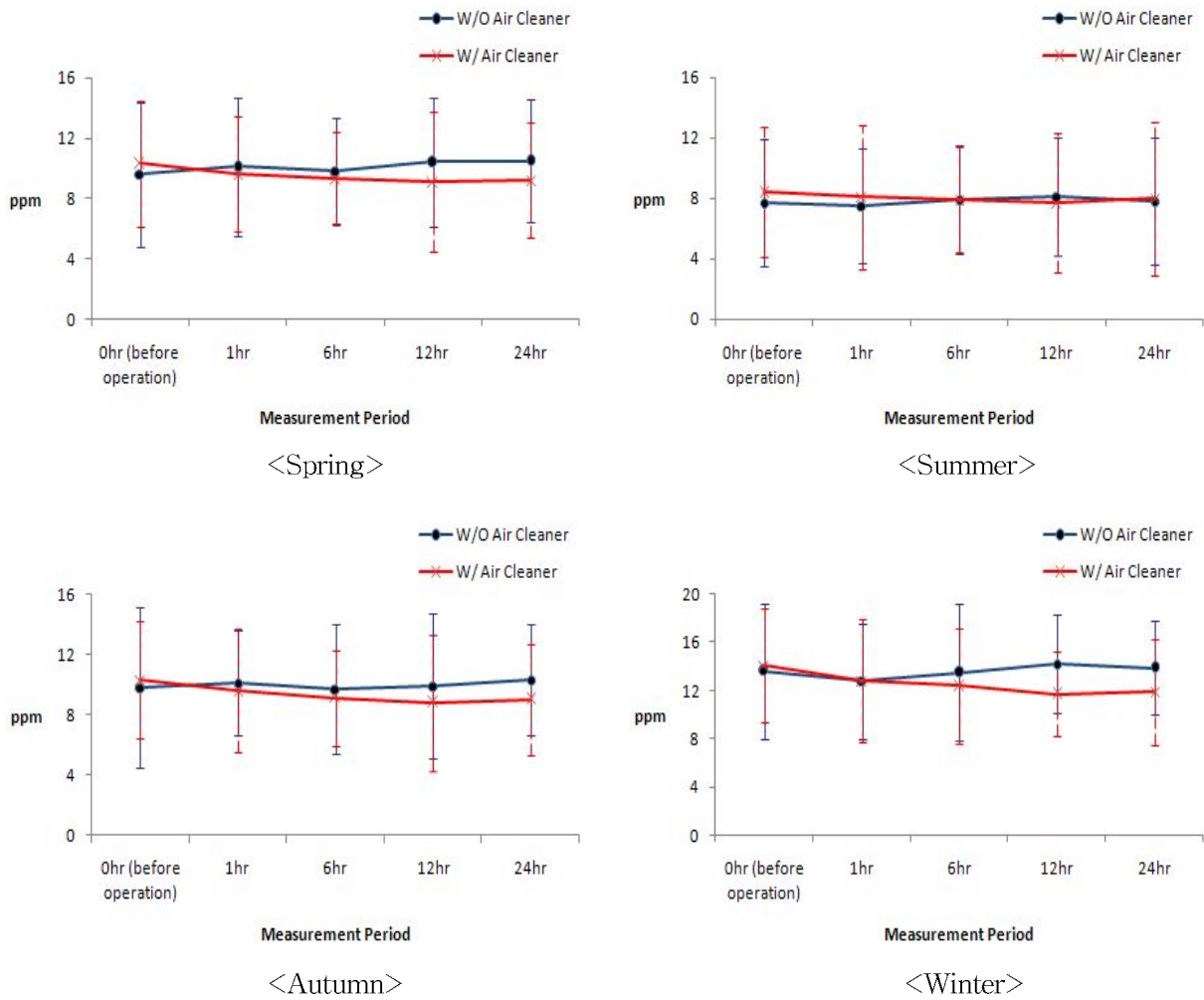
<그림 26> 임신/분만 돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유진균 농도의 경시적 비교

(1) 자돈사 (nursery room)

(가) 가스상 오염물질

① 암모니아 (NH₃)

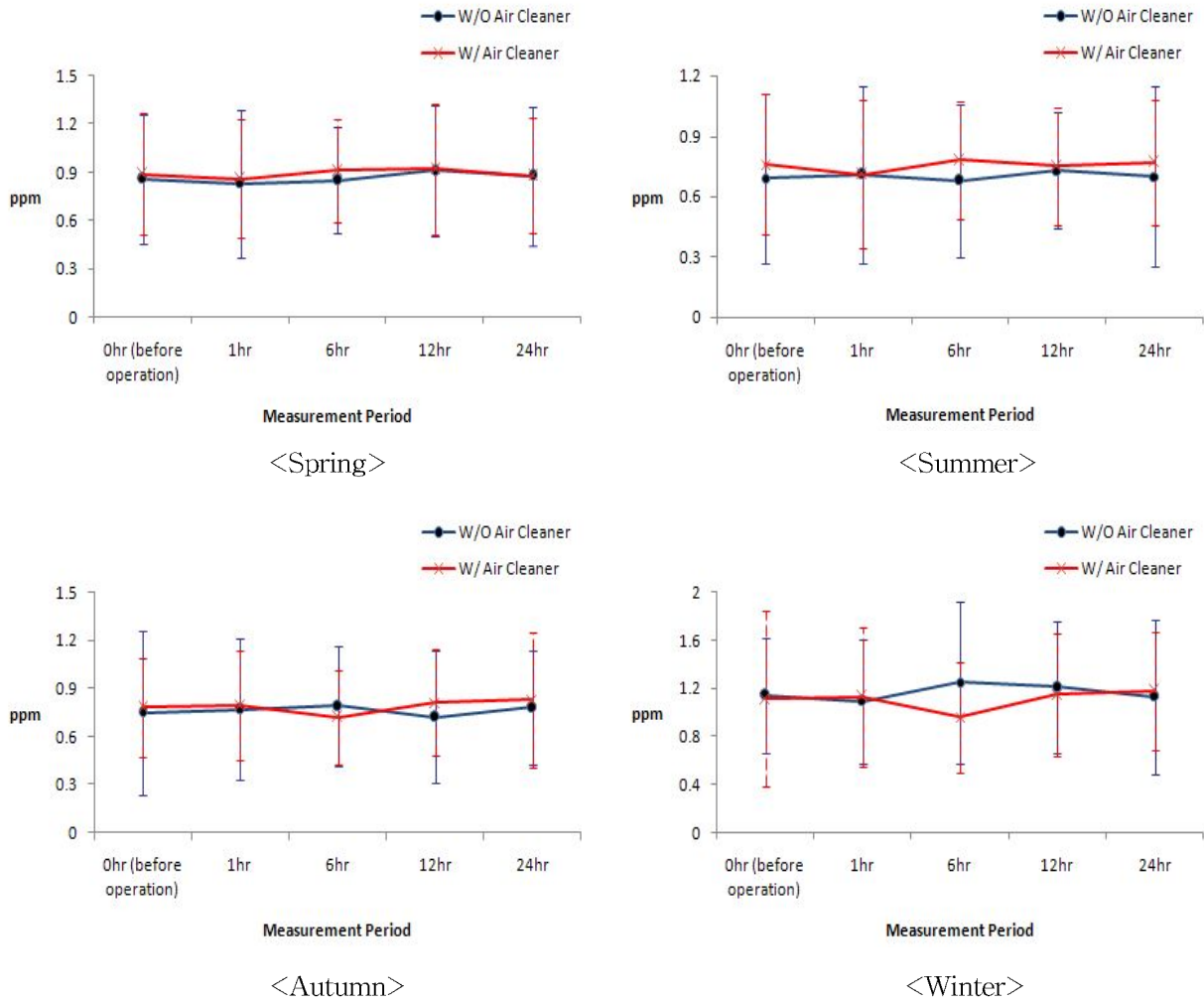
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 12%, 여름철은 5%, 가을철은 15%, 겨울철은 18%인 것으로 나타났다 (<그림 27> 참조). 분석 결과 암모니아에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 27> 자돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 암모니아 농도의 경시적 비교

② 황화수소 (H₂S)

공기정화기의 제어 효율성이 나타난 암모니아와는 달리 황화수소의 경우 공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 통계적으로 유의한 저감 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 관찰되지 않았다 (<그림 28> 참조).

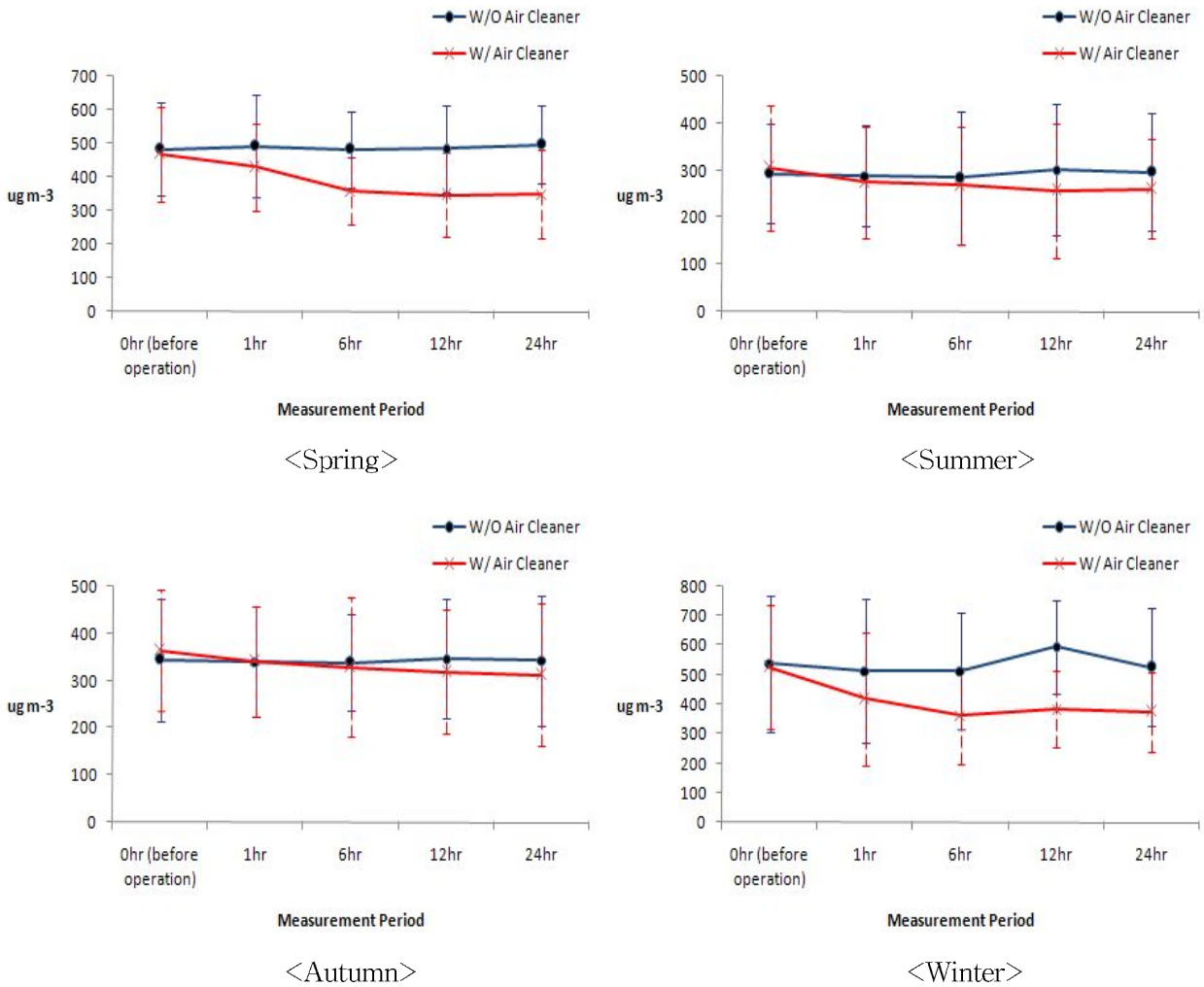


<그림 28> 자돈사에서의 공기정화기 적용 유무에 따른 황화수소 농도의 경시적 비교

(나) 입자상 오염물질

① 총부유분진 (TSP)

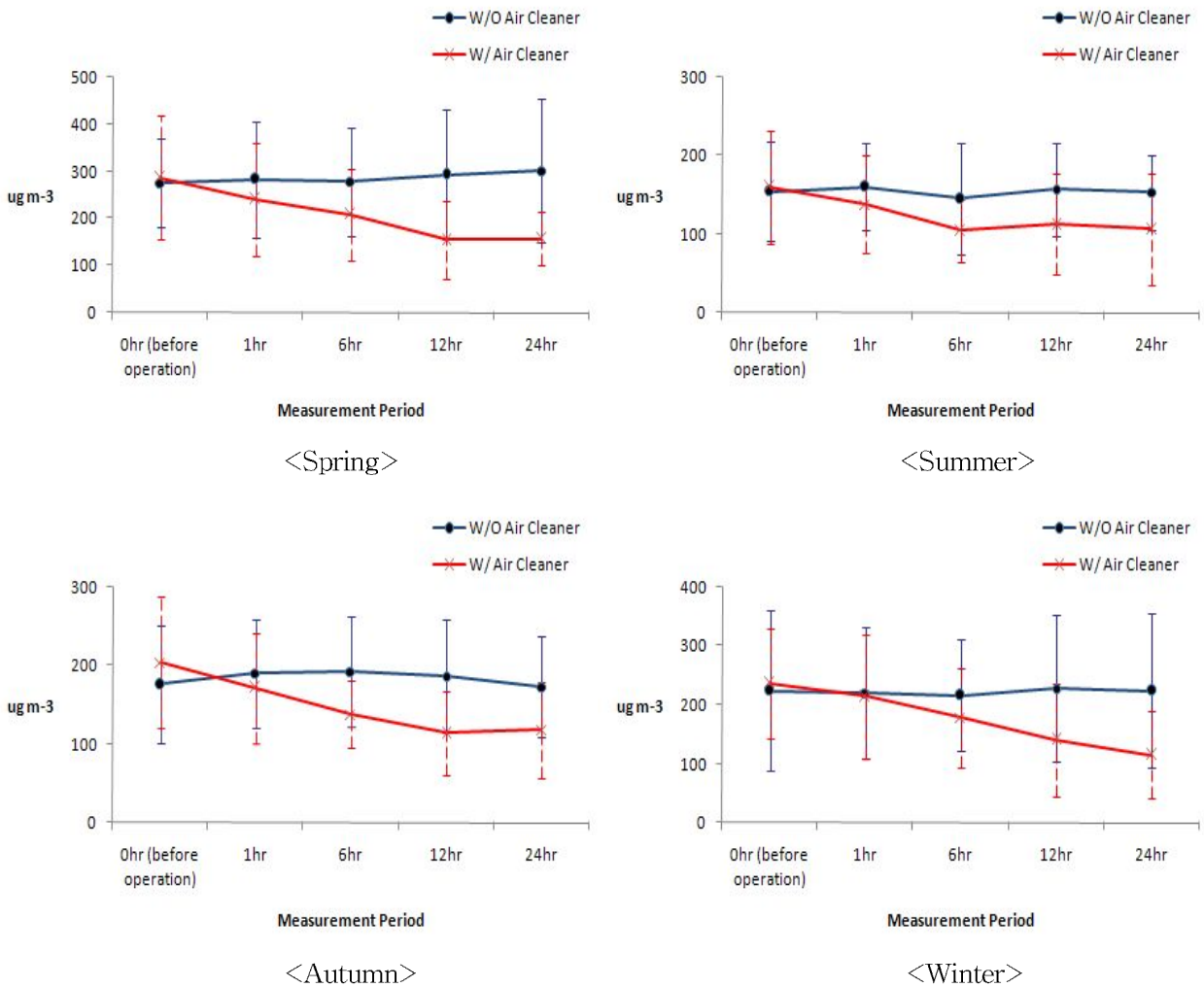
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 26%, 여름철은 14%, 가을철은 16%, 겨울철은 31%인 것으로 나타났다 (<그림 29> 참조). 분석 결과 TSP에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 29> 자돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유분진 (TSP) 농도의 경시적 비교

② 미세먼진 (PM₁₀)

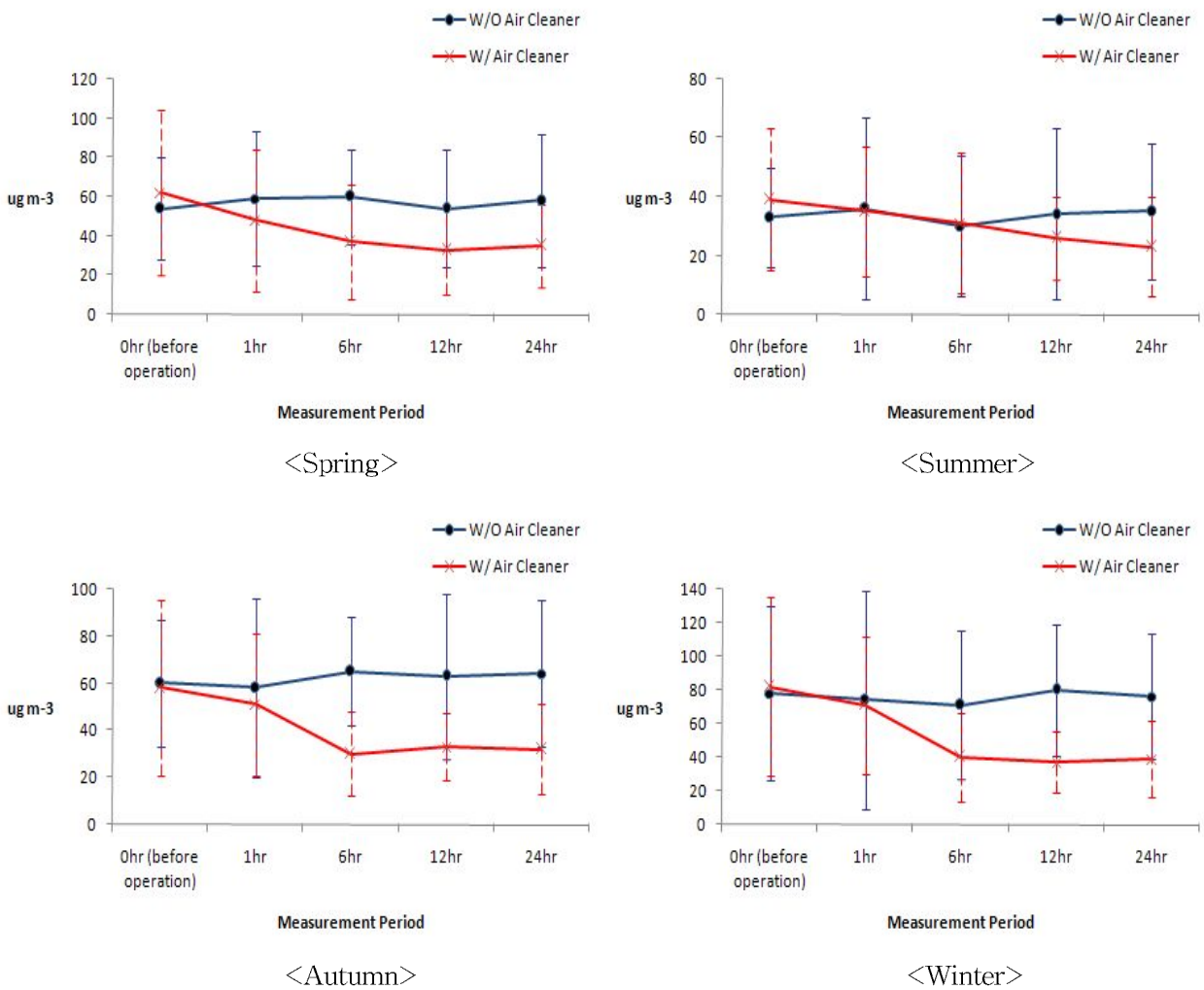
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 46%, 여름철은 35%, 가을철은 44%, 겨울철은 51%인 것으로 나타났다 (<그림 30> 참조). 분석 결과 TSP의 경우와 동일하게 PM₁₀에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 30> 자돈사에서 미세먼진 (PM₁₀) 농도의 경시적 비교

③ 극미세분진 (PM_{2.5})

공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 46%, 여름철은 39%, 가을철은 48%, 겨울철은 54%인 것으로 나타났다 (<그림 31> 참조). 분석 결과 TSP와 PM₁₀의 경우와 동일하게 PM_{2.5}에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.

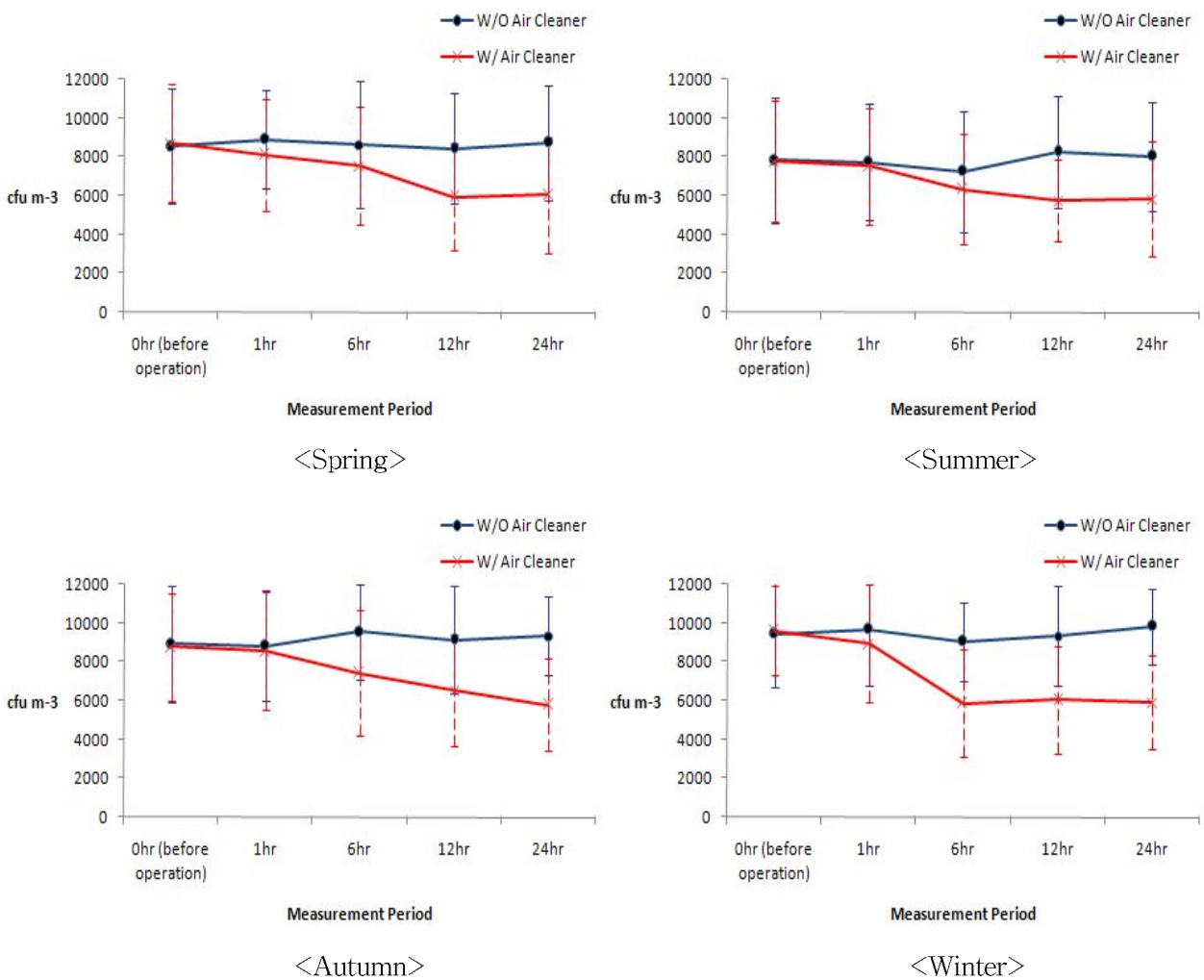


<그림 31> 자돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 극미세분진 (PM_{2.5}) 농도의 경시적 비교

(다) 생물학상 오염물질

① 총부유세균 (Total airborne bacteria)

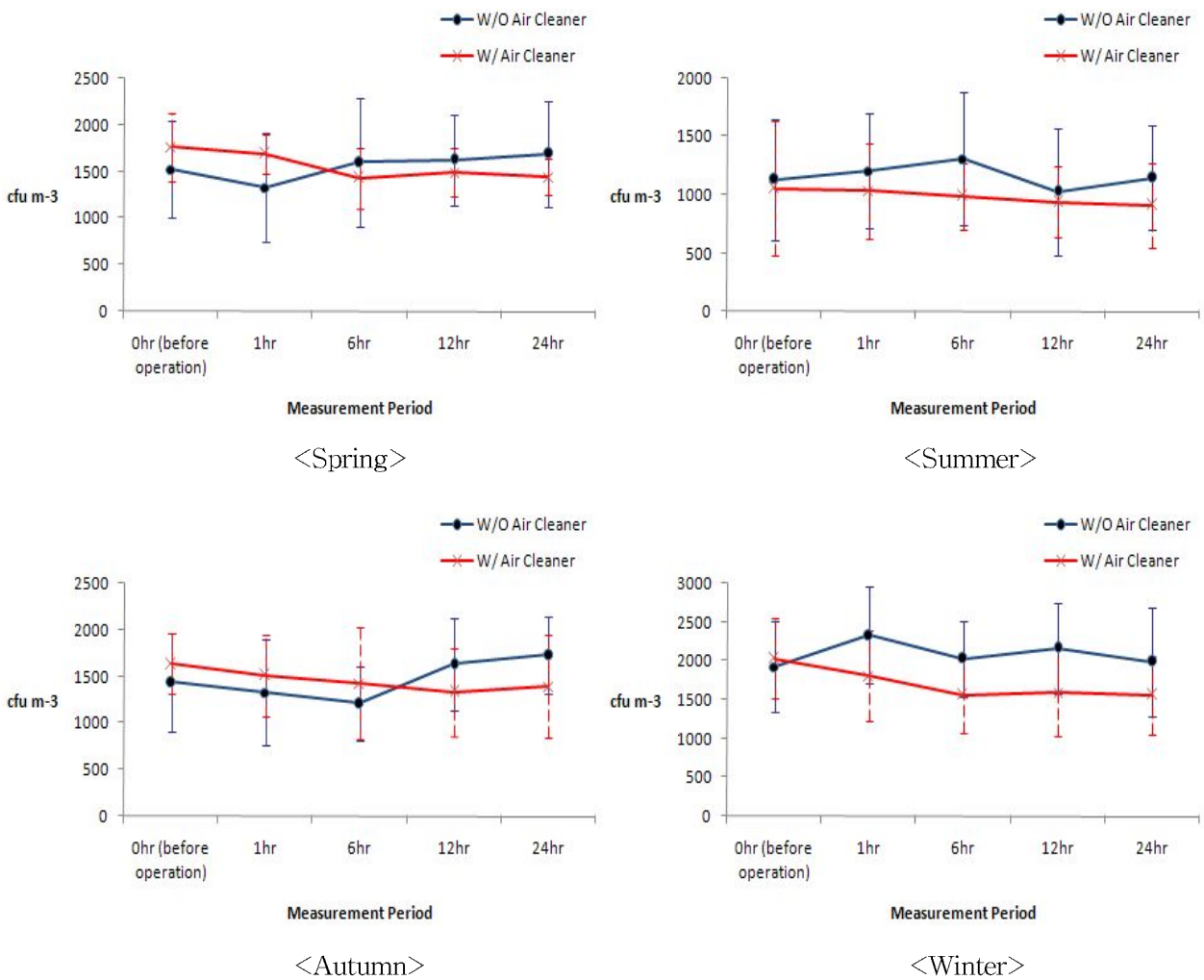
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 32%, 여름철은 26%, 가을철은 34%, 겨울철은 39%인 것으로 나타났다 (<그림 32> 참조). 분석 결과 총부유세균에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 32> 자돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유세균 농도의 경시적 비교

② 총부유진균 (Total airborne fungi)

공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 19%, 여름철은 14%, 가을철은 18%, 겨울철은 23%인 것으로 나타났다 (<그림 33> 참조). 분석 결과 총부유세균의 경우와 동일하게 총부유진균에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



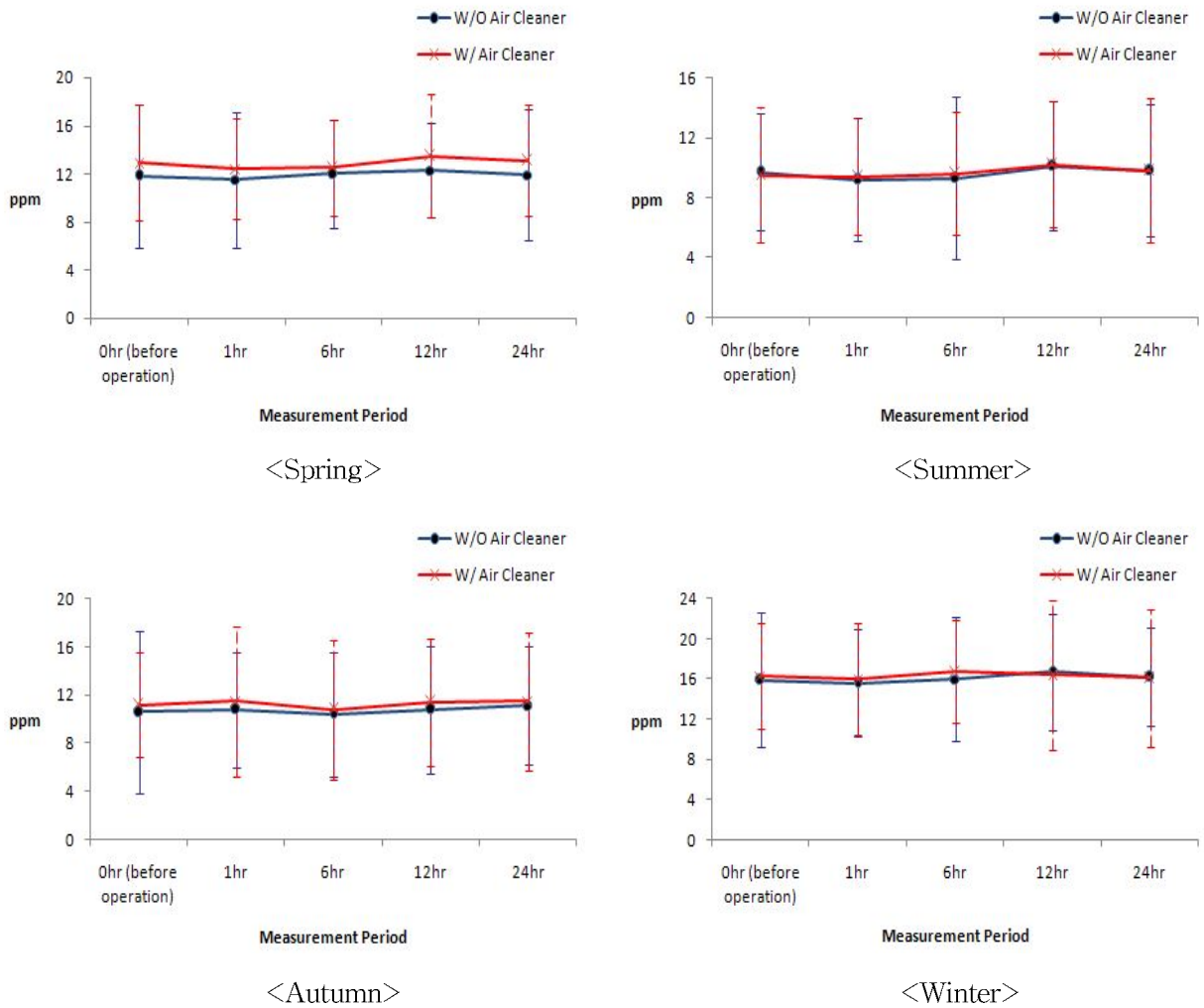
<그림 33> 자돈사에서의 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유진균 농도의 경시적 비교

(3) 육성/비육돈사 (growing/fattening room)

(가) 가스상 오염물질

① 암모니아 (NH₃)

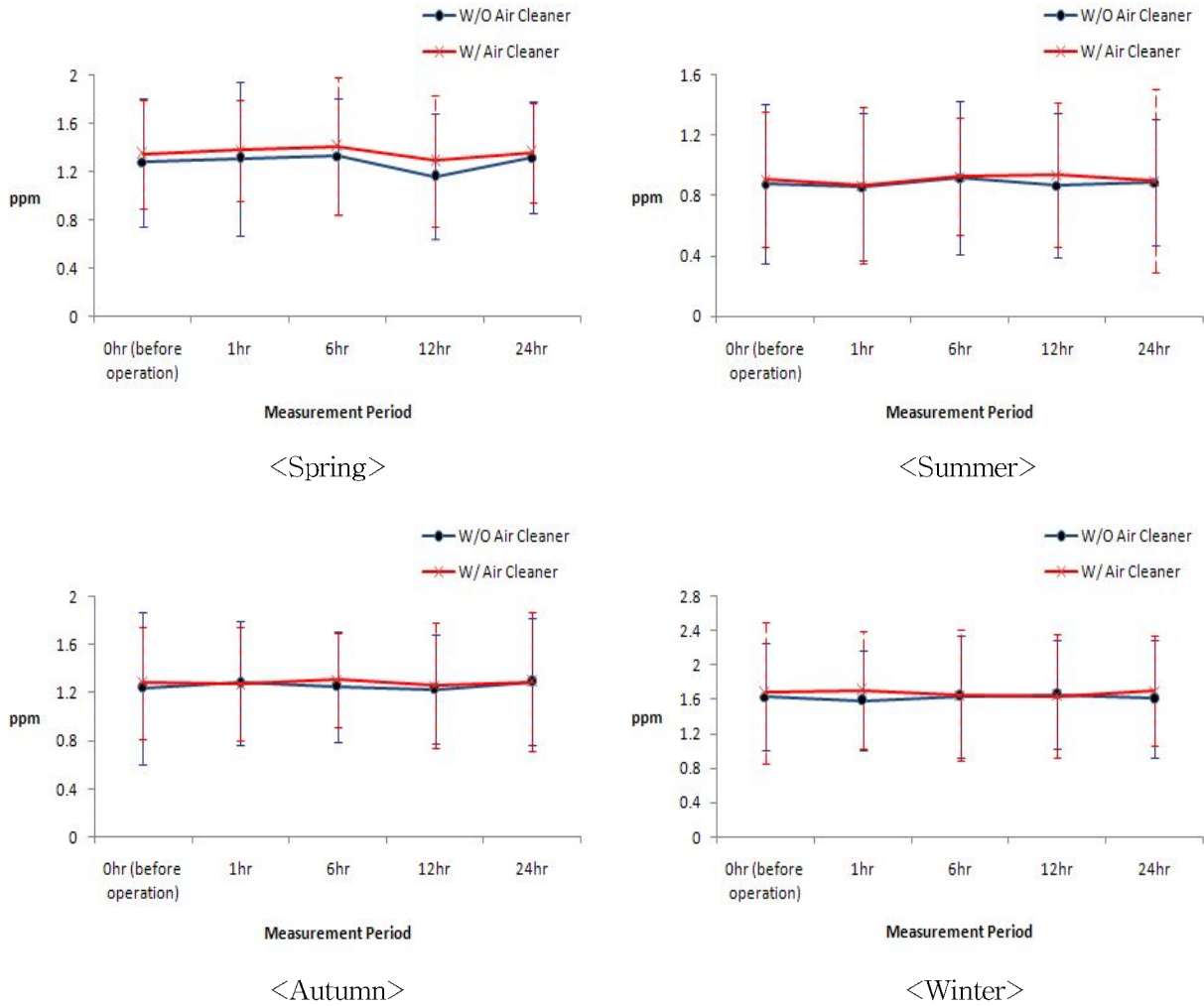
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 암모니아 농도 대비 통계적으로 유의한 저감 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 관찰되지 않았다 (<그림 34> 참조).



<그림 34> 육성/비육돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 암모니아 농도의 경시적 비교

② 황화수소 (H₂S)

암모니아의 경우와 마찬가지로 황화수소 또한 공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군) 과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 통계적으로 유의한 저감 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 관찰되지 않았다 (<그림 35> 참조).

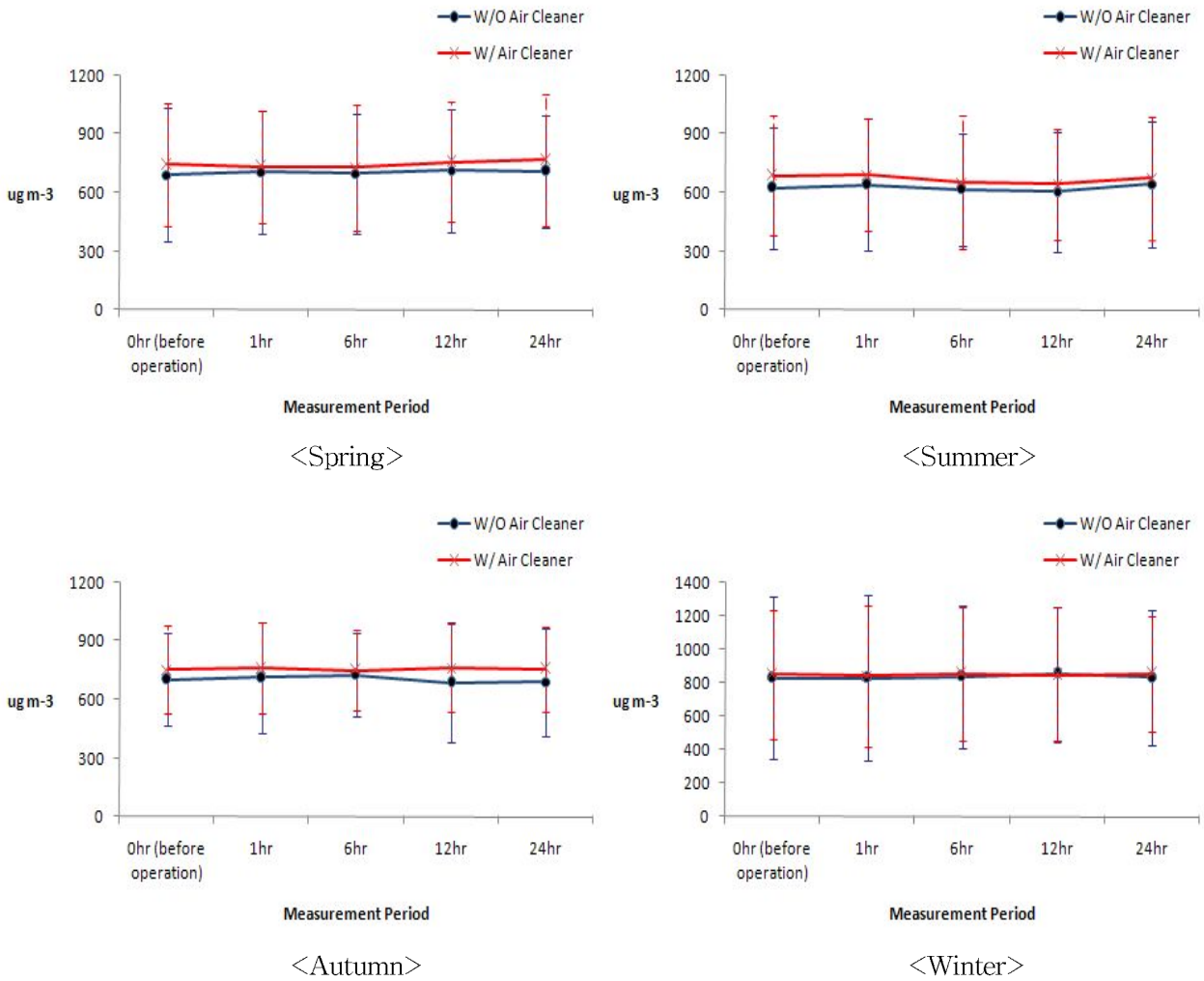


<그림 35> 육성/비육돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 황화수소 농도의 경시적 비교

(나) 입자상 오염물질

① 총부유분진 (TSP)

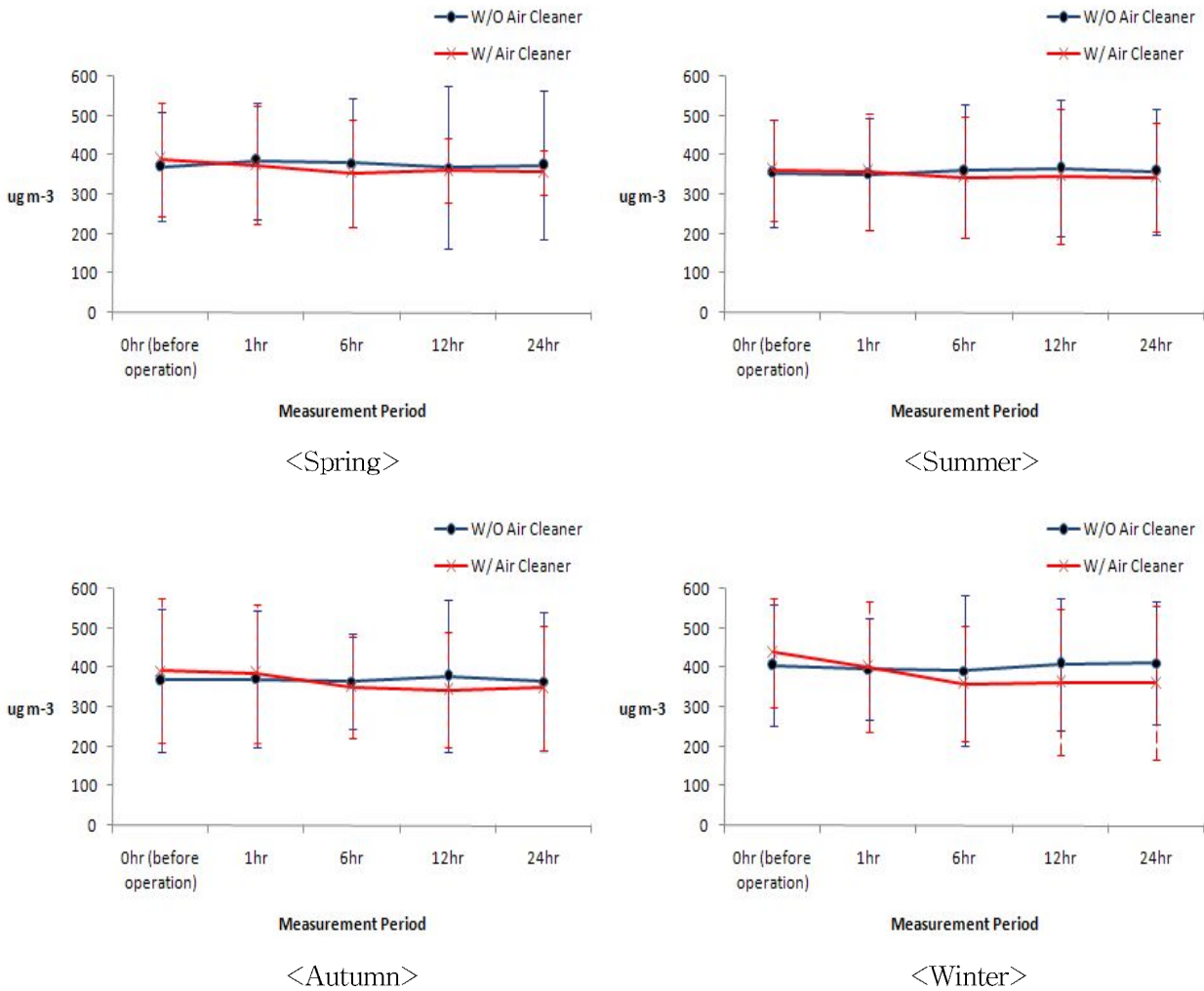
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 TSP 농도 대비 통계적으로 유의한 저감 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 관찰되지 않았다 (<그림 36> 참조).



<그림 36> 육성/비육돈사에서의 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유분진 (TSP) 농도의 경시적 비교

② 미세먼진 (PM₁₀)

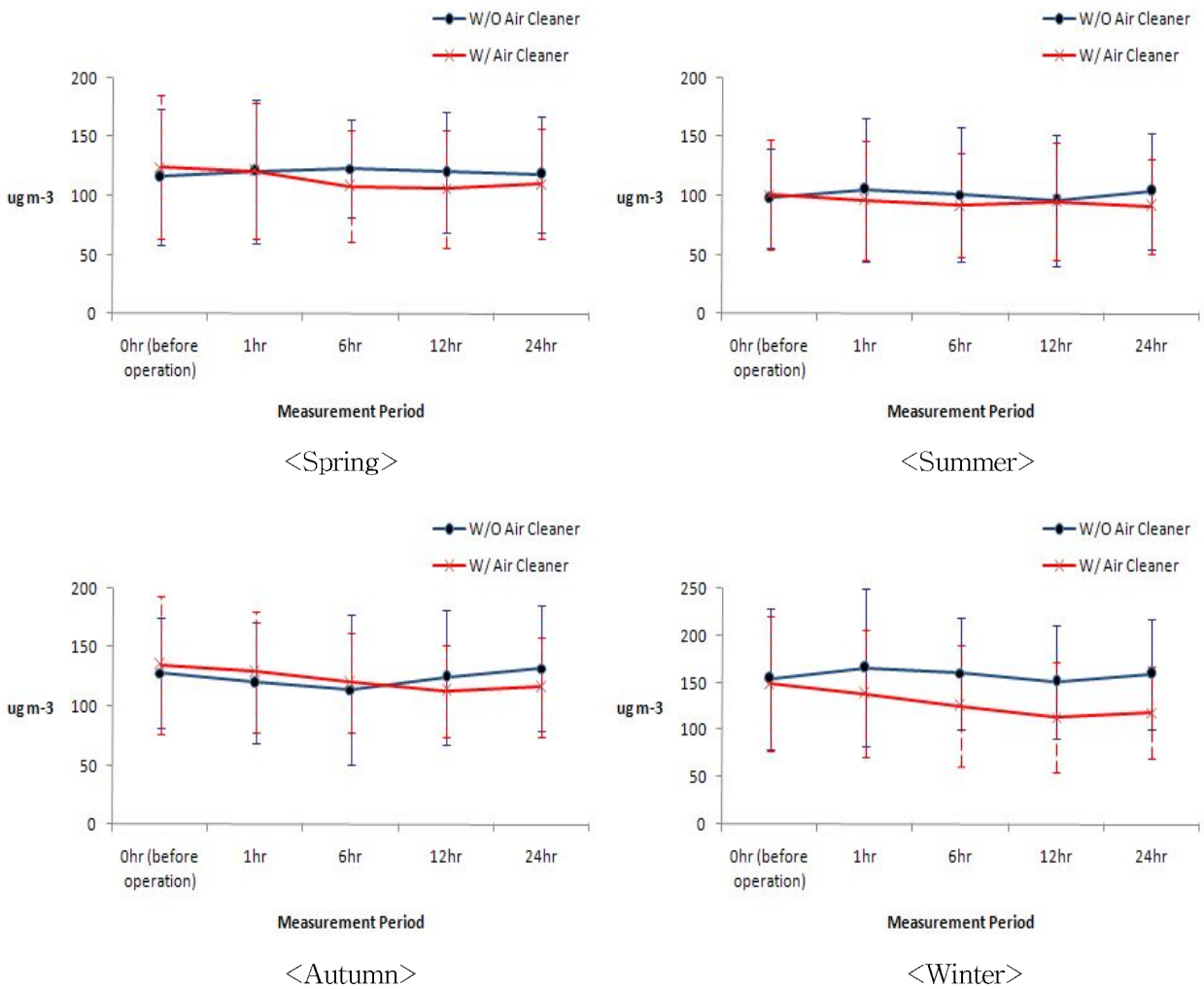
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 9%, 여름철은 5%, 가을철은 12%, 겨울철은 18%인 것으로 나타났다 (<그림 37> 참조). 분석 결과 TSP의 경우와는 달리 PM₁₀에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.



<그림 37> 육성/비육돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 미세먼진 (PM₁₀) 농도의 경시적 비교

③ 극미세분진 (PM_{2.5})

공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 최대 저감율을 계절별로 살펴보면 평균적으로 봄철은 14%, 여름철은 8%, 가을철은 16%, 겨울철은 24%인 것으로 나타났다 (<그림 38> 참조). 분석 결과 PM₁₀의 경우와 동일하게 PM_{2.5}에 대한 공기정화기의 제어 효율성이 겨울철에 가장 높은 것으로 나타난 반면, 여름철의 경우 가장 낮은 것으로 나타났고, 봄철과 가을철은 중간 범위의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.

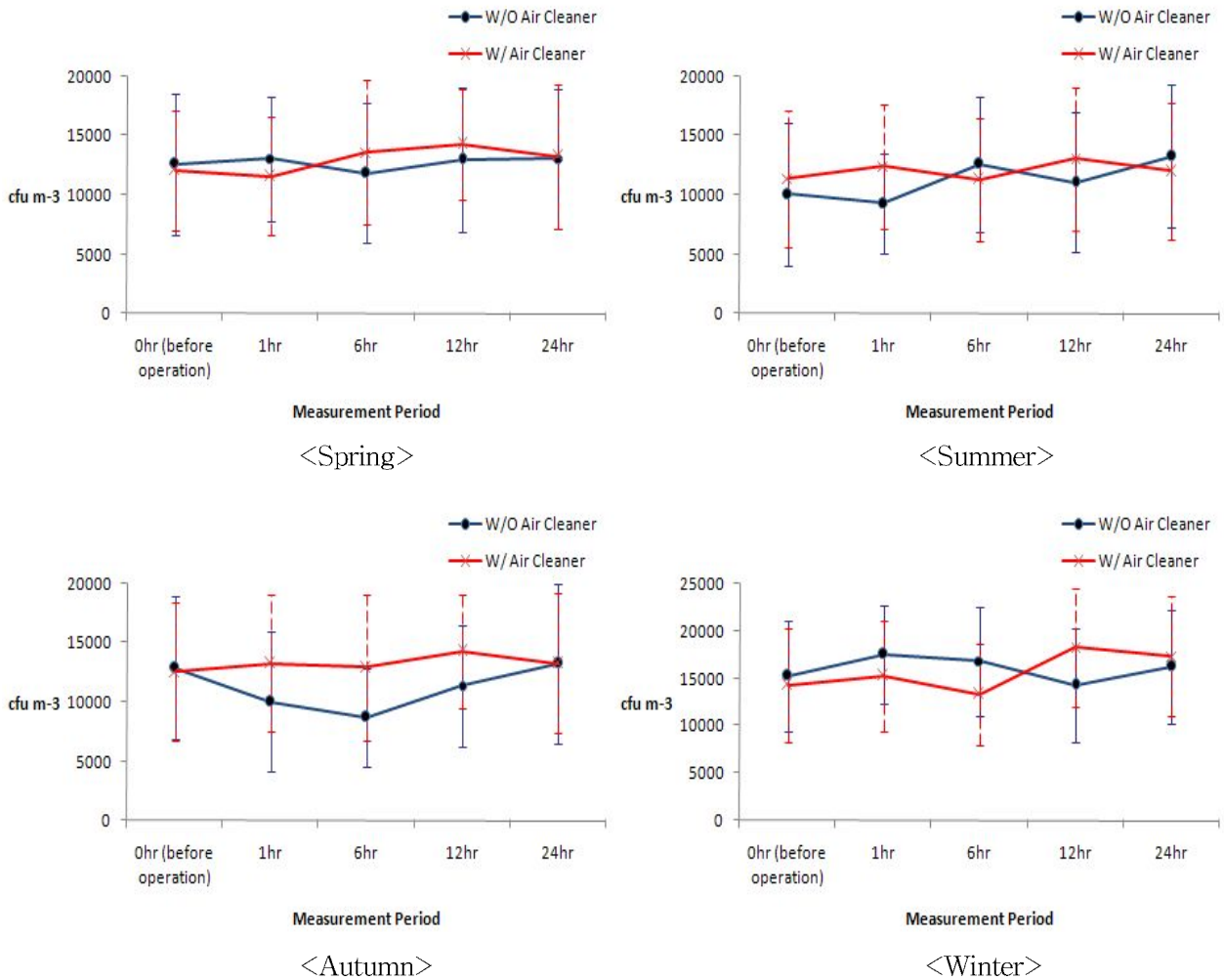


<그림 38> 육성/비육돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 극미세분진 (PM_{2.5}) 농도의 경시적 비교

(다) 생물학상 오염물질

① 총부유세균 (Total airborne bacteria)

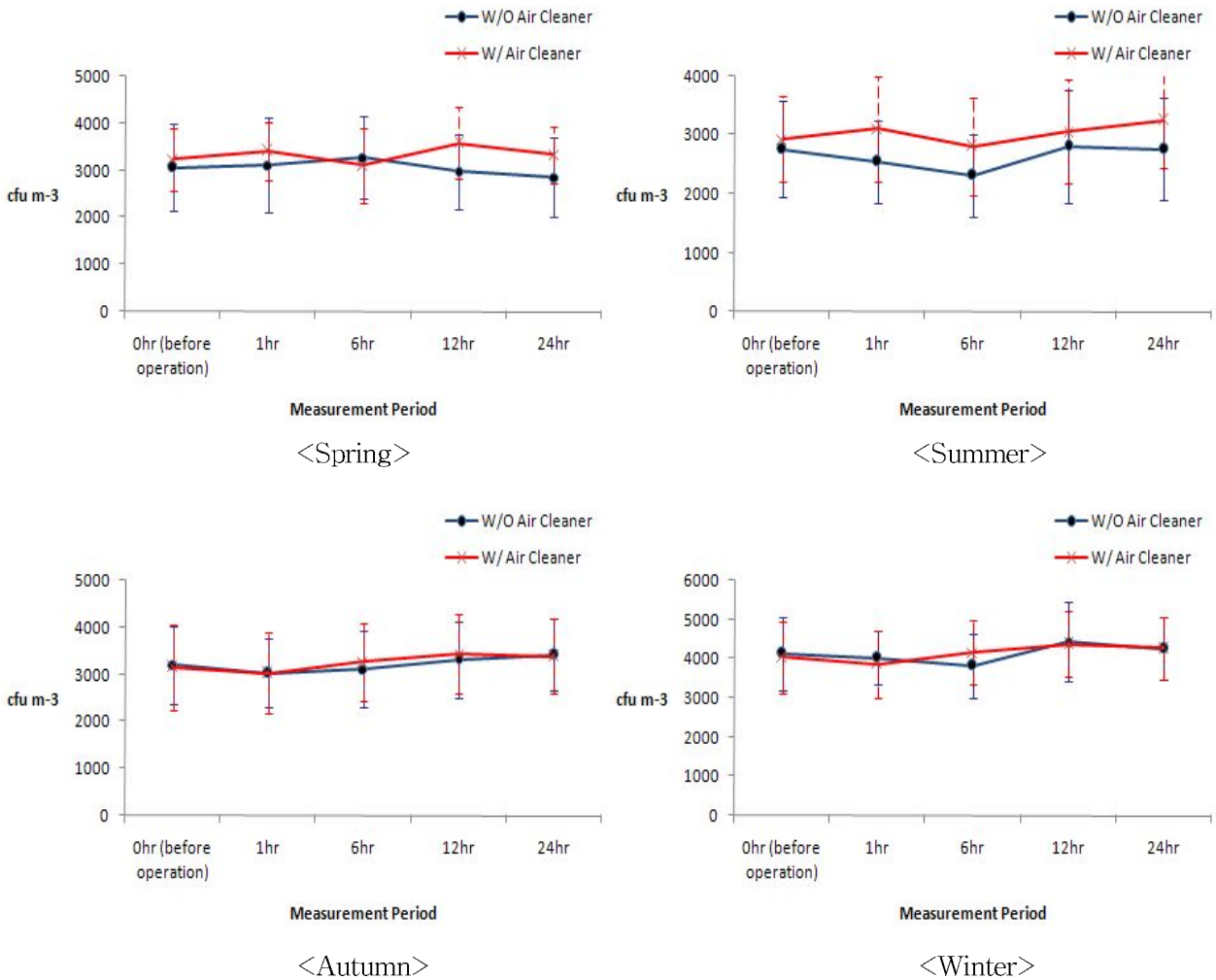
공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 총부유세균 농도 대비 통계적으로 유의한 저감 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 관찰되지 않았다 (<그림 39> 참조).



<그림 39> 육성/비육돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유세균 농도의 경시적 비교

② 총부유진균 (Total airborne fungi)

총부유세균의 경우와 마찬가지로 총부유진균 또한 공기정화기가 설치되지 않은 돈방 (대조군)과 비교시 가동 전 초기 농도 대비 통계적으로 유의한 저감 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모두 관찰되지 않았다 (<그림 40> 참조).



<그림 40> 육성/비육돈사에서 공기정화기 적용 유무에 따른 총부유진균 농도의 경시적 비교

(4) 고찰

측정 대상 모든 공기오염물질의 농도가 육성/비육돈사에서 가장 높았고 다음으로 자돈사, 임신/분만돈사 순서로 조사되었다. 이는 돼지의 사육단계가 진행될수록 분뇨 배설량도 증가되어 돈사 피트에 집적되기 때문에 나타난 현상이며 (Kim et al., 2005), 돼지의 행동성 또한 활발해 지게 되어 돼지 피부나 돈사 바닥에 침착된 다양한 유형의 오염물질이 공기 중으로 비산될 가능성이 높기 때문이라 할 수 있다 (Kim et al., 2008).

<표 9>는 공기정화기의 공기오염물질에 대한 최대 저감율을 중심으로 돈사 유형 및 계절에 따른 운용 효율성을 요약한 것이다. 돈사 유형 측면에서 가스상 오염물질인 암모니아와 황화수소의 경우 임신/분만돈사가 9-42%, 자돈사가 암모니아는 5-18%, 황화수소는 미효과, 육성/비육돈사가 암모니아와 황화수소 모두 미효과인 것으로 나타났다. 입자상 오염물질인 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 경우 임신/분만돈사가 45-86%, 자돈사가 14-54%, 육성/비육돈사가 TSP는 미효과, PM₁₀과 PM_{2.5}는 5-24%인 것으로 나타났다. 생물학상 오염물질인 총부유세균과 총부유진균의 경우 임신/분만돈사가 58-85%, 자돈사가 14-39%, 육성/비육돈사는 효과가 없는 것으로 나타났다. 분석 결과 본 공기정화기의 운용 효율성은 임신/분만돈사>자돈사>육성/비육돈사 순서로 조사되었는데, 이는 돼지의 행동성이 클수록 돈사 내부 공기오염물질의 농도 수준을 변화시켜 본 공기정화기의 제어 효과에 부정적인 영향을 준 것으로 사료된다.

계절 측면에서 가스상 오염물질인 암모니아와 황화수소의 경우 봄철이 0-31%, 여름철이 0-20%, 가을철이 0-33%, 겨울철이 0-42%인 것으로 나타났다. 입자상 오염물질인 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 경우 봄철이 0-74%, 여름철이 0-70%, 가을철이 0-78%, 겨울철이 0-86%인 것으로 나타났다. 생물학상 오염물질인 총부유세균과 총부유진균의 경우 봄철이 0-77%, 여름철이 0-71%, 가을철이 0-75%, 겨울철이 0-85%인 것으로 나타났다. 분석 결과 본 공기정화기의 운용 효율성은 겨울철에서 가장 높고, 여름철에서 가장 낮으며, 봄철과 여름철은 중간 수준인 것으로 조사되었다. 이는 계절에 따라 적용되는 환기율이 다르기 때문에 나타난 결과라 판단되는데, 겨울철의 경우 돈사내 적정 사육 온도를 유지하기 위해 최소 환기율을 적용하고 있어 공기정화기의 제어 효율성이 극대화된 것이라 추정된다. 반면 여름철은 돈사내 높은 온도를 낮추기 위해 통상적으로 최대 환기율이 적용되어 동시에 공기오염물질을 돈사 외부로 상당 수준 배출되기 때문에 공기정화기 가동에 의한 공기오염물질의 제어 효과가 희석된 것으로 사료된다. 또한 실내 공간의 공기오염물질 농도가 높을수록 공기정화기의 제어 효과가 증대된다는 선행 연구 결과 (Grinshpun et al., 2007)가 돈사내 공기오염물질의 농도가 가장 높았던 겨울철에 본 공기정화기의 제어 효율성 또한 가장 높게 측정된 본 연구 결과를 뒷받침해준다.

공기오염물질 종류 측면에서 공기정화기의 제어 효과가 가스상 오염물질의 경우 최대 40%, 입자상과 생물학상 오염물질의 경우 최대 90%에 가까운 것으로 나타나 가스상 오염물질보다는 입자상과 생물학상 오염물질 저감에 더 현저한 효율성을 보인 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에서 개발되어 적용된 공기정화기가 제균 성능에 탁월한 효과를 보이는 플라즈마 이온 방식과 분진 등의 입자상 오염물질들을 주로 집진하는 수세식 필터로 구성되어 제작되었기 때문이라

Table 9. Maximum reduction effect of air cleaner on airborne pollutants in pig housing room

		gestation/farrowing room	nursery room	growing/fattening room		
Gaseous pollutant	NH ₃	spring	31%	12%	No effect	
		summer	20%	5%	No effect	
		autumn	33%	15%	No effect	
		winter	42%	18%	No effect	
	H ₂ S	spring	18%	No effect	No effect	
		summer	9%	No effect	No effect	
		autumn	15%	No effect	No effect	
		winter	26%	No effect	No effect	
	Particulate pollutant	TSP	spring	53%	26%	No effect
			summer	45%	14%	No effect
			autumn	55%	16%	No effect
			winter	59%	31%	No effect
PM ₁₀		spring	72%	46%	9%	
		summer	68%	35%	5%	
		autumn	77%	44%	12%	
		winter	83%	51%	18%	
PM _{2.5}		spring	74%	46%	14%	
		summer	70%	39%	8%	
		autumn	78%	48%	16%	
		winter	86%	54%	24%	
Biological pollutant	T.A.B. †	spring	77%	32%	No effect	
		summer	71%	26%	No effect	
		autumn	75%	34%	No effect	
		winter	85%	39%	No effect	
	T.A.F. ‡	spring	64%	19%	No effect	
		summer	58%	14%	No effect	
		autumn	69%	18%	No effect	
		winter	72%	23%	No effect	

† : Total airborne bacteria (총부유세균)

‡ : Total airborne fungi (총부유진균)

판단된다. 가스상 오염물질 중 황화수소보다는 암모니아의 저감율이 상대적으로 높게 나타난 이유는 암모니아가 수용성 물질이기 때문에 비록 필터가 입자상 오염물질을 집진하기 위한 것이나, 수세식으로 제작되었기 때문에 가스상 오염물질이 필터로 여과되는 중 흡수에 의한 암모니아의 제거율이 비수용성인 황화수소보다 높게 나타났기 때문이다. 입자상 오염물질의 저감율을 살펴보면 전반적으로 PM_{2.5}>PM₁₀>TSP인 순서로 나타났는데, 이는 본 공기정화기가 입자크기가 큰 조대입자보다는 입자크기가 작은 미세입자의 제어에 상대적으로 높은 효율성을 보인 것으로 판단된다. 이러한 추정은 생물학상 오염물질 중 총부유진균보다 총부유세균의 저감율이 상대적으로 높은 결과도 뒷받침해 주는데, 입경 측면에서 부유세균이 부유진균보다 입자크기가 작기 때문이다. 입자상 오염물질과 생물학상 오염물질의 공기정화기에 의한 저감율이 유사하게 나타난 이유는 부유 세균과 진균 또한 분진처럼 고유의 입경 분포를 보이기 때문에 물리적 측면에서는 입자상으로 분류되고 이러한 특성으로 인해 본 연구에 이용된 입자상 오염물질의 측정 장비는 광산란 방식의 원리로 부유 미생물들도 입자상으로 인식하여 모니터링하기 때문이다.

3. 공기오염물질 저감 효율성 평가에 근거한 공기정화기의 운용 최적화 방안 제시

현재까지의 연구를 통해 얻어진 현장 조사 결과에 근거시 돈사에서 발생하는 공기오염물질에 대한 공기정화기의 제어 효율성은 돈사 유형 측면에서는 임신/분만돈사, 계절 측면에서는 겨울철, 공기오염물질 종류 측면에서는 입자상과 생물학상 오염물질에 상대적으로 현저하게 나타난 것으로 조사되었다. 따라서 본 공기정화기의 운용상의 최적화 방안을 다음과 같이 제시하는 바이다.

가. 처리용량의 확대

(1) 먼지를 먼저 제거 할 수 있는 집진장치의 보완과 기계의 공학적인 개선이 필요할 것으로 판단된다.

(가) 현재 제작되어 적용된 공기정화기는 돈사의 용적에 비례하여 설계가 되었으나, 돈사 내 미세먼지의 높은 농도에 비해 처리 용량이 적어 실질적인 제어 효율을 기대할 수 없었다.

(나) 이에 따른 보완 점으로 돈사의 용적 기준이 아닌 지금까지 연구되어 왔던 돈사내 공기오염물질의 농도 수준 및 공기정화기의 설치 위치에 따른 표준화된 설계방법 및 설계도가 요구된다.

(다) 무창돈사 외에도 원치커튼 형태의 자연환기 돈사에 적합한 본 공기정화기의 처리 용량 규명 평가가 추가 보완되어야 한다.

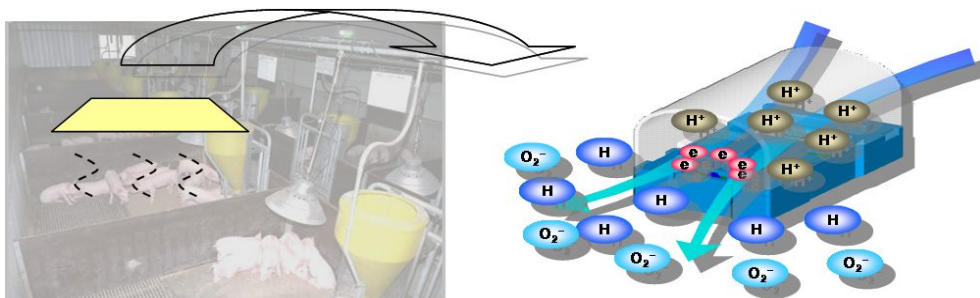
나. Hardware의 변경

(1) 현재 벽걸이 형태의 기류로는 돈사 내 분포하는 바이오에어로졸을 제외한 기타 오염물질에 대한 효과적인 제어를 기대할 수 없다.

(가) 덕트를 이용한 외기 유입형이나 후드형으로 된 개별 팬 설치로 미비한 저감 효율을 보인 가스상 물질의 제어 기능의 강화가 필요하다.

(나) 공기오염물질 제어 효율성 향상을 위해 플라즈마 이온이 돈사 내부에 골고루 분포될 수 있게 하는 장치의 부속 설치가 요구된다.

(다) 돈방 내에는 다양한 종류의 부식성 가스 물질이 존재하므로 이들 노출에 따른 플라즈마 전극의 오염 방지를 위한 내구성 강화 측면도 고려할 필요가 있다.



- 후드 형태의 공기정화기 설치에 대한 참고도 -

다. 분만돈사 및 자돈사에서의 활용

(1) 분만돈사 및 자돈사내 어린 돼지들의 면역력은 육성/비육돈에 비해 상대적으로 낮기 때문에 (2005, 농진청) 분만돈사 및 자돈사에 입식된 어린 돼지들의 초기 예방 관리를 통한 면역력 증대를 기대할 수 있다.

(가) 육성/비육돈으로 성장시 공기 감염성 오염물질에 대한 면역 항체를 보유하게 되므로 4P 소모성 질환과 같은 공기감염성 호흡기계 질환 발병률을 저감시킬 수 있다.

라. 분만돈사 및 자돈사에서의 활용

(1) 분만돈사 및 자돈사내 어린 돼지들의 면역력은 육성/비육돈에 비해 상대적으로 낮기 때문에 (2005, 농진청) 분만돈사 및 자돈사에 입식된 어린 돼지들의 초기 예방 관리를 통한 면역력 증대를 기대할 수 있다.

(가) 육성/비육돈으로 성장시 공기 감염성 오염물질에 대한 면역 항체를 보유하게 되므로 4P 소모성 질환과 같은 공기감염성 호흡기계 질환 발병률을 저감시킬 수 있다.

마. 처리용량 결정

현장 조사 결과 근거시 본 연구에 적용된 벽걸이 유형의 공기정화기 (음이온 발생량 평균 30,000개/cc 기준)의 돈사 유형별 적정 처리 용량은 다음과 같다.

- ▷ 임신/분만 돈사 : 1대 / 97.5m³
- ▷ 자돈사 : 1대 / 270m³
- ▷ 육성/비육 돈사 : 1대 / 180m³

제 3 절 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돼지의 생산성 및 안전성 향상 현장 실증평가 (3차년도)

1. 공기정화기 적용에 따른 돼지의 생산성 및 돈육 품질의 안전성 평가

가. 실험 설계

(1) 돼지의 생산성 평가 측면

공기정화기가 설치된 돈사 (실험군)과 미설치된 돈사 (대조군)에서 돼지 출생에서 출하시까지의 성장 전체 기간인 6개월 동안 0일 (분만 직후), 21일 (분만 후~이유 전), 70일 (이유 후~자돈), 140일 (자돈~육성기), 180일 (육성기~비육기)로 성장 단계별로 구분하여 돼지의 생산성 지표를 측정하여 비교하였다.

(2) 돈육 품질의 안전성 평가 측면

돼지의 생산성 평가 측면과 동일한 실험 설계로 공기정화기가 설치된 돈사 (실험군)과 미설치된 돈사 (대조군)에서 최종 출하된 돼지들의 도체 분석 비교를 통해 수행하였다.

(3) 각 돈사 유형별 실험 설계

◦ 임신/분만돈사

	규 격	돼지 수	돈사 유형	공기정화기 설치유무
대조구	1.5m×2.5m×4시설	1개 시설당 9~11두 1실(室) 당 20마리	무창/슬러리 돈사	×
실험구				○ (공기정화기 4대)

◦ 자돈사

	규 격	돼지 수	돈사 유형	공기정화기 설치유무
대조구	1.5m×2.5m×6시설	1개 시설당 15마리 1실(室) 당 60마리	무창/슬러리 돈사	×
실험구				○ (공기정화기 4대)

◦ 육성/비육돈사

	규 격	돼지 수	돈사 유형	공기정화기 설치유무
대조구	1.5m×2.5m×6시설	1개 시설당 15마리 1실(室) 당 60마리	무창/슬러리 돈사	×
실험구				○ (공기정화기 6대)

나. 측정 항목

(1) 돼지의 생산성 평가 항목

(가) 증체량 (Pig's Body Weight Gain)

돼지의 증체량은 생시체중(0), 21, 70, 140, 180일로 나뉘어 측정하였다 (<그림 41> 참조).

일 수	돼지장소 사육 장소	측정대상
생시체중	분만돈사(이유돈)	
21일	분만돈사 → 자돈사(자돈)	공기정화기 설치 (실험군) : 10두 공기정화기 미설치 (대조군): 10두
70일	자돈사 → 육성돈사(육성돈)	
140일	육성돈사 → 비육돈사(비육돈사)	
180일	비육돈사 → 출하(성돈)	



<그림 41> 돼지 증체량 측정 장면

(나) 사료요구율 (Feed conversion)

돼지의 단위 체중 증가에 필요한 사료섭취량으로 단계별 사료섭취량을 증체량으로 나눈 값을 의미한다. 이는 성장 중인 돼지에 어떤 사료를 주었을 경우의 증체량과 사료섭취량에 대한 비율인 사료효율 (Feed efficiency)의 반대개념으로 급여된 사료가 돼지의 증체로 어느 정도 전환되었는가를 조사하는데 활용되는 지표이다. 따라서 사료요구율이 낮을수록 돼지의 생산성이 향상되었다고 할 수 있다. 본 연구에서는 자동 급여 시스템으로 돈사 옥외에 설치된 사료통에서 공기정화기가 설치된 돈사(실험군)와 설치되지 않은 돈사(대조군)에 동일한 양으로 공급되었다 (<그림 42> 참조).



(左: 사료통, 右: 돈사 내 사료자동 급여)

<그림 42> 돼지 사료 급여 자동 시스템

(다) 돼지행동지수 (Pig activity index, PAI)

돈사에 입식된 총 돼지들 중 직립하고 있는 돼지 수의 비율을 의미는 것으로 돈사 실내환경과 돼지와의 생리적 반응을 평가하기 위해 Parbst et al. (2000)이 처음 제안한 것으로 본 연구에서도 이를 돼지의 생산성 지표를 반영하는 지수의 하나로 선정하여 측정하였다.

(라) 폐사율 (Mortality rate)

돈사에 입식된 총 돼지들 중 사육단계별로 죽은 돼지 수의 비율을 의미하는 것으로 돈사 운용 현황 및 돼지 사육 성적을 파악하는 데 일반적으로 활용되는 지표이다.

(마) 스트레스 호르몬

동물복지에 대한 관심이 고조되면서 동물의 사육조건에 따른 스트레스 정도를 평가하는데 있어 여러 국외 연구자들의 이를 적용하였고 (Beerda et al., 1999, Groot et al., 2001), 이것에 근거하여 본 연구에서는 콜티졸, 에피네프린, 노르에피네프린을 대상으로 모니터링 하였다 (<그림 43> 참조).

① 콜티졸 (Cortisol)

- 검사방법 : RIA(Radio immuno assay)

- 검사원리 : Immobilize antibody가 부착된 polypropylene tube에 표준 물질과 serum sample을 넣어 반응을 유도하고, 여기에 Coated 125 I-labeled cortisol을 넣어 antibody bound fraction을 radiolabeled cortisol로 분리한다. 이때 antibody-specimen-125 I-labeled cortisol로 완전히 결합한 물질을 제외한 나머지 unbound form은 제거하고, gamma counter에 측정하여 cortisol의 농도를 구한다.




제품명 :
Gamma counter -
Cobra II

제조사	사용시약	참고치
(제조사 : Hewlett Packard, USA)	COAT-A-COUNT Cortisol	Serum ; AM 50-250ug/ml PM 25-125ug/ml
Catecholamine 2분획	(제조사 : DPC, USA)	Urine ; 200-900ug/day

② 에피네프린 (Epinephrine) & 노르에피네프린 (Norepinephrine)

- 검사방법 : HPLC (high performance liquid chromatography)

- 검사원리 : 혈청시료를 perchloric acid로 제단백한 후 원심분리하여 취한 위층과 내부표준물질, tis buffer의 혼합물에 산처리된 alumina를 가하여 혈장의 catecholamine과 내부표준물질을 흡착시킨다. 추출한 용리액을 C18 역상 컬럼에 주입하여 유기상이 4 % 정도인 buffering system에 이온쌍 형성시약을 첨가하여 이동상으로 사용하면 norepinephrine, epinephrine, dopamine, 내부표준물질이 각각 분리되며 전기화학검출기(ECD)로 최종 검출하게 된다.

제조사	검출 시스템	참고치
 제품명 : HPLC Model : TSP. P1000	제조사 : THERMOINST. SY. INC. (U.S.A) Amperometry (Oxidation:+0.8 V)	Epinephrine : < 300 pg/mL Norepinephrine : < 800 pg/mL
 제품명 : ECD-300,	제조사 : Eicom, (Japan). 전기화학 검출기	



(좌부터 : 체혈 준비, 채취된 시료, 체혈, 체혈후 락카로 표시)
 <그림 43> 돼지 스트레스 호르몬 분석을 위한 돼지 체혈 장면

(2) 돈육 (돼지 도체) 품질의 안전성 평가 항목

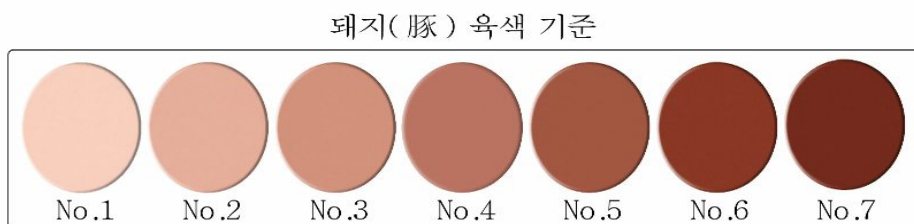
(가) 육색

① 육색에 의한 돼지도체의 등급판정방법은 작업장과 가공장의 여건 등을 고려하여 온도체 또는 냉도체 등급판정 방법으로 한다.

② 온도체 등급판정방법은 인력등급판정 또는 기계등급판정 중 한 가지를 선택하여 적용할 수 있다. 다만 기계등급판정을 실시하고 있는 작업장에서 기계의 고장 등으로 기계판정이 불가능한 경우에는 제9조 제1항의 인력등급판정기준을 적용하여 판정한다.(축산법, 2009)

③ 1차 판정에 의한 2차 판정을 한 후 1차 판정결과 중 가장 낮은 등급을 최종 판정한다.

④ 육색의 기계등급판정은 초음파기계(Ultraform a-mode)를 통해 하게 되는데, <그림 44>에 나타난 바와 같이 No.4와 5는 1+ 등급, No.3과 6은 1등급, No. 2와 7은 2등급 순으로 책정하게 된다.



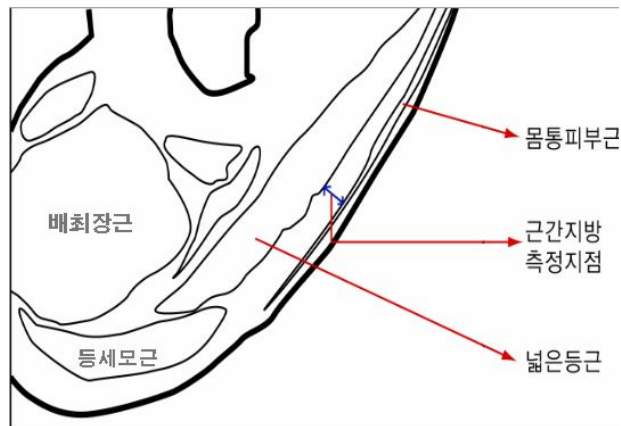
<그림 44> 돼지 육색 기준

(나) 근간지방두께

① 돼지의 근지방두께라 함은 흉추 4~5번 또는 5~6번 사이 절개 면의 넓은등근 1/2지점과 몸통피부근 사이의 근간지방 두께를 말한다 (<그림 45> 참조).

② 인력등급판정기준에 의한 등지방두께 측정은 왼쪽 반도체의 마지막 등뼈와 제1허리뼈 사이 및 제11등뼈와 제12등뼈 사이의 등지방을 mm단위로 측정한 평균치로 한다.

③ 기계등급판정기준에 의한 등지방두께 및 등심직경은 초음파기계(Ultrafom, A-mode)를 사용하여 왼쪽 반도체의 제12등뼈와 제13등뼈 사이에서 복부방향으로 6cm지점의 도체표면에 기계를 밀착시킨 상태에서 mm단위로 측정한다.



<그림 45> 돼지 도체 삼겹살의 근간지방두께 측정부위

(다) 등급

① 돼지의 도체 등급은 아래 표에 나타난 육질 규격 등급표에 의해 판정된다.

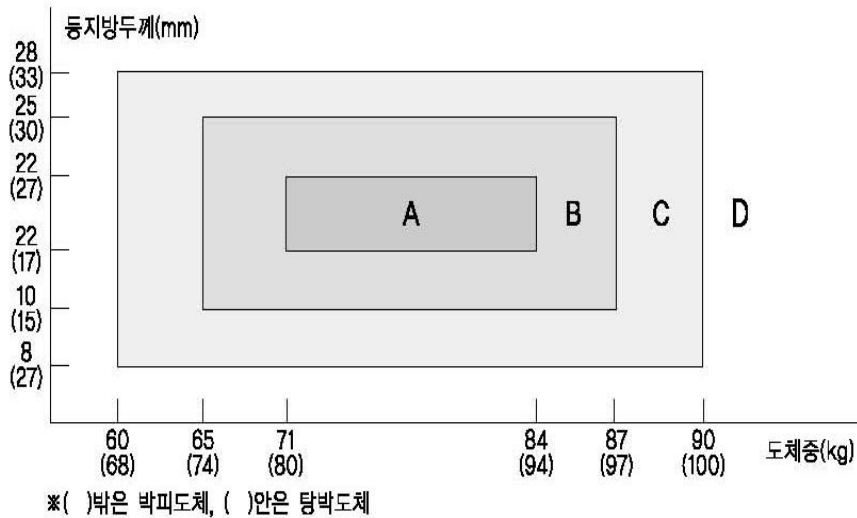
구분		육질등급				등외
		1+등급	1등급	2등급	3등급	
규격등급	A등급	1+A	1A	2A	3A	
	B등급	1+B	1B	2B	3B	
	C등급	1+C	1C	2C	3C	
	D등급	1+D	1D	2D	3D	
	등외	E				

② 등외 판정이 나는 경우는 아래와 같다.

- 거세하지 않은 수돼지 특유의 냄새가 심하게 나는 도체
- 상처 또는 화농 등으로 도려내는 정도가 심하다고 인정되는 도체
- 도체중량이 40kg미만으로서 왜소한 도체
- 새끼를 분만한 어미돼지(경산모돈) 또는 씨수돼지(종모돈)의 도체

- 등지방 및 복부지방이 진한 황색이거나 연지방으로 품질이 매우 좋지 않은 도체
- 비육상태가 아주 불량하며 등지방 및 복부지방 부착상태가 빈약한 도체
- 고유의 목적을 위해 2분체 분할 하지 않은 학술연구용, 바베큐 또는 제수용 등의 도체
- 검사관이 자가소비용으로 인정한 도체

③ 등급 판정은 아래 <그림 46>에 나타난 바와 같이 도체중과 등지방두께와의 상관성을 고려하여 산정한다.



<그림 46> 도체중과 등지방두께에 의한 등급별 범위

다. 연구 결과 및 고찰

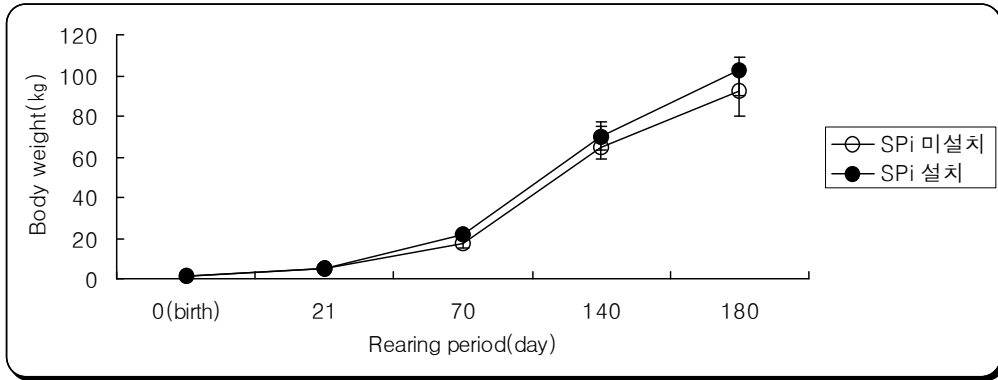
(1) 돼지의 생산성 평가 비교

(가) 증체량 (Pig's Body Weight Gain)

<그림 47>은 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 증체량의 평균값 변화 추이를 보여주고 있다. 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치 돈사에서 사육단계별 돼지 증체량의 평균값을 살펴보면 0일 (1.42 ± 0.21 과 1.32 ± 0.23)kg, 21일 (5.32 ± 0.50 과 5.24 ± 0.74)kg, 70일 (21.8 ± 0.44 와 17.8 ± 1.92)kg, 140일 (70.0 ± 6.16 과 64.8 ± 7.63)kg, 180일 (102.4 ± 7.26 과 92.4 ± 12.26)kg로 분석되었다. 10두의 평균 증체량은 출하기준으로 180일령인 경우 평균 10kg 차이가 나는 것으로 나타났다.

분만돈사에서 이유돈 때부터 공기정화기로 관리를 받아왔던 돼지들은 비육돈 때부터 근소한 차이를 보이게 되는데 공기정화기 적용의 영향이 있음에 대하여서 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

국내외 공기정화기(제균장치)를 도입하여 축사를 관리하는 곳은 매우 적으며, 대부분이 악취의 가스상 물질을 제거하는 곳 이외에 환기시스템으로 입자상 물질을 잡는 등의 공기정화기가

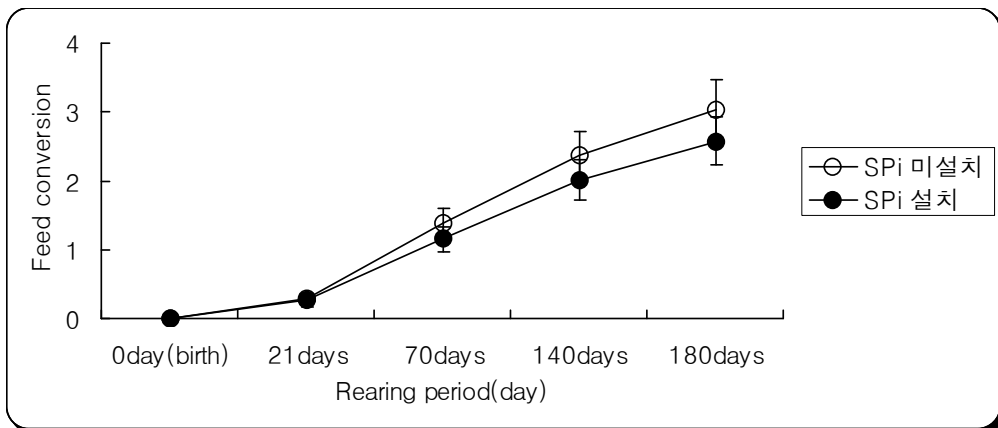


<그림 47> 사육단계별 증체량의 평균값 변화 추이

대부분이지만, 공기정화기를 도입하여 생물학상 물질을 제거하여 돼지의 질병예방을 이유로든 때부터 비육에 필요한 조건을 갖춰줌으로써 건강하게 사육될 수 있는 결과를 보이게 되었다.

(나) 사료요구율 (Feed conversion)

<그림 48>은 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 사료요구율의 평균값 변화 추이를 보여주고 있다. 측정 결과 21일 (분만 후~이유전)까지는 사료요구율의 차이가 나타나지 않으나 젖을 떼는 21일 이후부터 공기정화기가 설치된 돈사 돼지들의 사료요구율이 미설치된 돈사 돼지들보다 상대적으로 낮았다. 또한 사육기간이 진행됨에 따라 사료요구율의 차이가 계속 커지는 것으로 나타났는데, 21일 (0.27과 0.28), 70일 (1.16과 1.38), 140일 (2.02와 2.38), 180일 (2.58과 3.04)로 분석되었다.



<그림 48> 돼지 사육단계별 사료요구율의 변화 추이

‘사료요구율이 낮다’라는 것은 급이된 사료가 돼지의 증체로 전환되는 비율이 높다는 것을 의미하기 때문에 사료 이외의 다른 돈사 환경적 요소들이 돼지 증체에 기여하고 있음을 암시하고 있다. 따라서 공기정화기의 가동이 사료의 돼지 증체로의 전환율을 높여주고 있는 하나의 요인으로 작용하고 있음을 추정할 수 있다.

기존의 보고된 돼지 사육단계별 사료요구율 (<표 10> 참조) 자료와 비교한 결과, 공기정화기가 설치된 돈사 내 돼지들의 사료요구율이 모든 사육단계에서 상대적으로 더 낮은 수치였으며, 미설치된 돈사 내 돼지들의 사료요구율 또한 낮은 것으로 조사되어 공기정화기의 효과와 더불어 본 연구가 수행된 돈사 관리가 일반 돈사보다 잘 이루어지고 있었음을 알 수 있다.

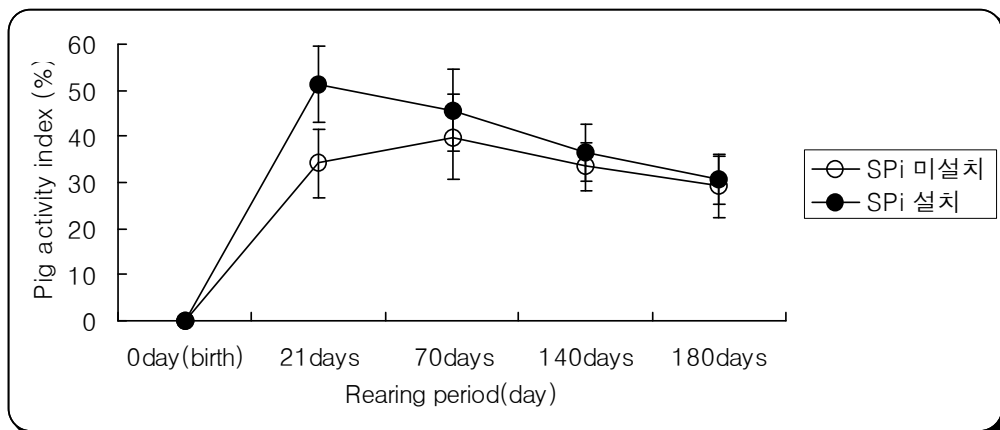
Table 10. General feed conversion according to pig's growth stage

사육기간 (days)	개시체중 (kg)	종료체중 (kg)	증체량 (kg)	사료섭취량 (kg)	섭취량/증체량 (사료요구율, Feed conversion)
0~21	1.4	8	6.6	2	0.30
22~70	8	24	16	23	1.44
71~140	24	91	67	165	2.46
141~180	91	110	19	60	3.16

(다) 돼지행동지수 (Pig activity index; PAI)

<그림 49>는 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 돼지행동지수의 평균값 변화 추이를 보여주고 있다. 측정 결과 모든 사육단계에서 공기정화기가 설치된 돈사의 돼지들의 행동지수 (30.8~51.3)가 미설치된 돈사의 돼지들 (29.1~39.8)보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

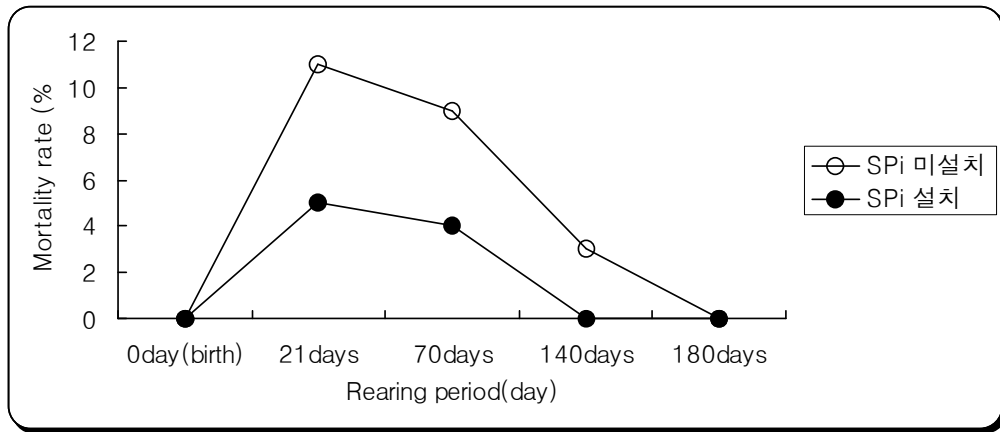
Kim et al. (2008)의 연구결과에 의하면 돈사의 실내공기질을 결정하는 인자 중 하나인 암모니아의 농도와 돼지행동지수간의 음(-)의 상관성을 보인다고 보고하였다. 이는 돈사 내 암모니아 농도가 높아지게 되면 열악한 실내공기질에 의해 돼지의 행동성이 둔화된다는 것을 의미한다. 또한 그들은 일반 돈사 환경 조건에 돼지행동지수가 10~40의 범위를 나타낸다고 하였다. 따라서 본 연구를 통해 관찰된 50 정도의 높은 돼지행동지수는 공기정화기 가동으로 돈사 실내 환경이 개선되어 나타난 긍정적 효과에 의한 것이라 판단된다.



<그림 49> 돼지 사육단계별 돼지행동지수의 변화 추이

(라) 폐사율 (Mortality rate)

<그림 50>은 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 폐사율 변화 추이를, [표 8]은 폐사된 돼지 개체수를 보여주고 있다. 측정 결과 공기정화기가 설치된 돈사에 입식된 돼지들의 폐사율이 미설치된 돈사에 입식된 돼지들보다 상대적으로 낮은 것으로 조사되어 공기정화기의 적용에 따른 폐사율 감소 효과가 입증되었다. 그러나 그 차이는 이유 후 자돈 단계에서만 약 5% 보였을 뿐 육성/비육 단계에서는 실험구와 대조구 모두 돼지의 폐사 현상이 관찰되지 않았다.



<그림 50> 돼지 사육단계별 폐사율의 변화 추이

2010년도 통계청 자료에 의하면 전국 평균 돼지 폐사율은 12.5~13.4%로 보고되고 있으며, 본 연구가 수행된 제주지역은 전국 평균 돼지 폐사율보다 높은 15.4~17.4%로 보고되었다. 하지만 실제 농가 현장 및 업계 관계자들은 제주지역 폐사율을 20~25%로 추정하고 있으며, 주요 폐사는 자돈 사육기간이 20%, 육성 비육돈 단계에서 5% 정도라고 주장하고 있다. 따라서 자돈 사육단계에서 폐사율이 높은 이유는 4P 등 소모성 질병이 만연된 것으로 추정되며, 따라서 이 시기에 공기정화기 Unit과 같은 폐사를 예방할 수 있는 부가 장비가 적용되어야 할 필요가 있다.

최근 들어 양돈장에서 육성/비육 단계에서의 폐사율이 급증하여 폐사 비율이 자돈단계와 거의 비슷한 수준으로 높아졌으며, 그 원인은 급성 흉막폐렴인 것으로 판단되고 있다. 따라서 이에 대한 예방을 위해 대규모 육성 비육돈사 시설에 부합될 수 있는 공기정화기 Unit 장비의 변형 연구도 모색되어야 할 것이다.

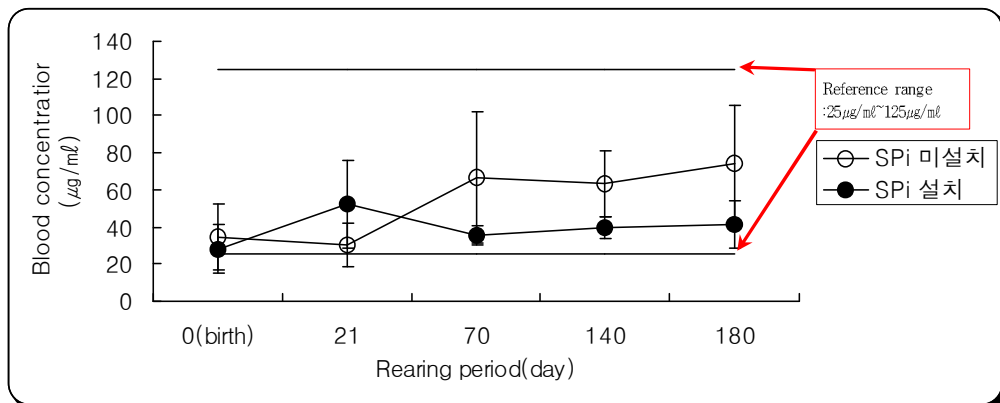
(마) 스트레스 호르몬

① 콜티졸 (Cortisol)

<그림 51>은 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 콜티졸 변화 추이를 나타내고 있다. 콜티졸의 변화 추이는 대부분이 참고치 (25 μ g/ml ~ 125 μ g/ml)안에 포함되어 있었다. 설치된 돈사와 미설치된 돈사의 차이는 크게 차이가 나지

않았으나, Webel (1997) 선행 연구에 의하면 증체량이 줄어드는 것에 혈액내 스트레스 호르몬 중 코티졸(Cortisol)이 높아지게 되면 증체량은 상대적으로 줄게 되는 것으로 조사되었다. 따라서 본 실험에서의 공기정화기가 설치된 돈사 보다 공기정화기 미설치 돈사가 코티졸 분비량이 많고 그에 따른 증체량이 낮아졌다.

스트레스 호르몬은 스트레스 부하에 따른 생식기능, 면역기능, 지각능력, 대사작용 등 신체적 기능에 미치는 부정적 영향도 연구되고 있다 (Groot et al., 2001; Roussel et al., 2004; Ott, 2005). 특히 스트레스에 따른 면역기능저하에 따른 질병발생 감수성 증가와 같은 스트레스와 면역기능변화의 상관성에 대한 연구가 집중적으로 진행되고 있다 (Elenkov and Chrousos, 1999). 돼지가 스트레스와 같은 위협 상황이 오면 몸은 그러한 위협에 대항하기 위해 에너지를 생산해 내야 하는데 돼지의 신경계 중 교감 신경계가 활동을 시작하고 부신(adrenal gland)에서 에피네프린(epinephrine), 노르에피네프린(norepinephrine), 스테로이드(steroid) 계열의 호르몬이 분비되는데 코티졸은 부신 피질에서 분비되는 스테로이드계 호르몬으로 스트레스와 같은 위협 상황이 오면 각 기관의 혈액 방출량이 많아지고 상대적으로 맥박과 호흡이 빨라지며, 감각기관이 예민해 진다. 그리하여, 고혈압, 만성피로, 두통이 발생하고 특히, 면역력이 약해져 감기 질병이 오게 된다.



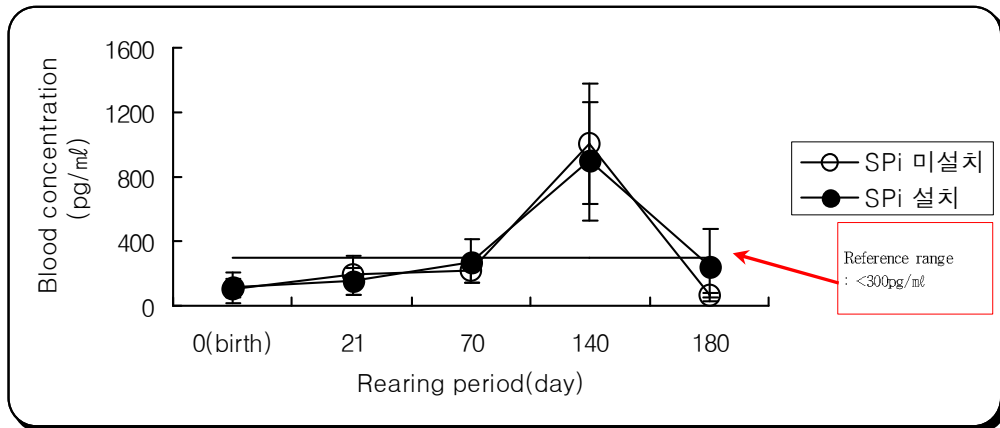
<그림 51> 돼지 사육단계별 코티졸의 변화 추이

② 에피네프린 (Epinephrine)

<그림 52>는 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 에피네프린 변화 추이를 나타내고 있다. 에피네프린의 변화 추이는 전반적으로 참고치 (300pg/nl 미만)를 벗어나지 않았다. 그러나 140일째 되는 비육기간시에는 혈액내 에피네프린이 높아지는 것을 볼 수 있다. 이 기간에서는 공기정화기 설치와 공기정화기 미설치 모두 높은 농도를 나타냈으므로 이는 공기정화기의 영향이 아닌 외부조건에 의하여 스트레스를 받았을 것으로 추정된다. 이는 Bart(2007)가 연구한 내용에 의하면 체중이 급격히 늘어나는 시기에는 에피네프린과 노르에피네프린의 혈액내 농도가 높아진다는 것과 일치하는 내용을 볼 수 있다. 하지만 체중이 급격히 늘어남에 따라 스트레스 호르몬이 높아진다는 것은 실제로 스트레스를 받지 않아야 된다는 전제조건이 내포되어 있어야 하는 무리가 따르므로 향후 이에

대한 추가 연구가 필요하다고 사료된다.

에피네프린은 부신수질에서 분비되는 호르몬으로 아드레날린이라고도 하는데, 에피네프린에는 신경에 대한 작용과 호르몬 작용이 있으며, 중추로부터의 전기적인 자극에 의해 교감신경의 말단에서는 에피네프린이 분비되어 근육에 자극을 전달하는 역할을 한다. 교감신경이 흥분한 상태, 즉 스트레스를 받으면 에피네프린은 뇌나 뼈대 근육 부분의 혈관을 확장시켜 정신을 가다듬어 근육이 스트레스에 잘 대처하도록 하며 동시에 다른 부분의 혈관을 수축시켜 스트레스 반응과 직접적으로 연관되어 있지 않은 소화활동 등의 반응을 감소시키는 것이다. 그러므로 교감신경이 흥분하면 심장의 박동이 빨라지고 모세혈관이 수축하므로 혈압이 상승한다. 부교감신경이나 운동신경에서는 아세틸콜린이 이 역할을 하고 있다.



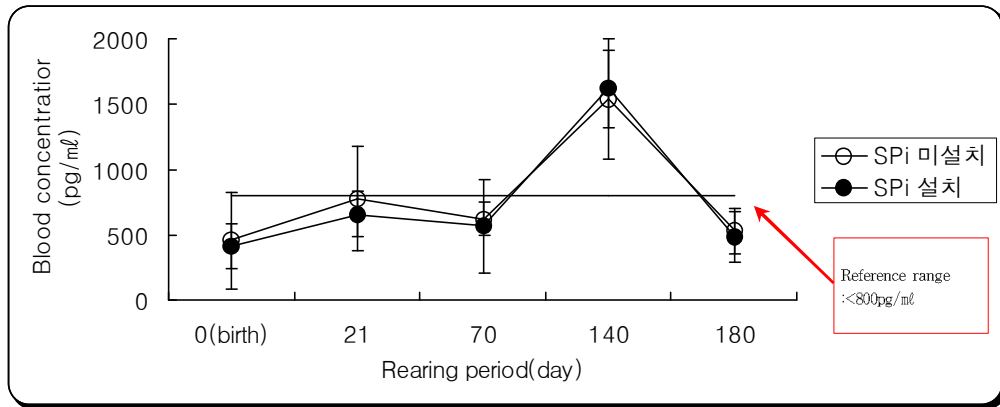
<그림 52> 돼지 사육단계별 에피네프린의 변화 추이

③ 노르에피네프린 (Norepinephrine)

<그림 53>은 공기정화기가 설치된 돈사와 미설치된 돈사에서 선정된 각각의 10두에 대한 사육단계별 노르에피네프린 변화 추이를 나타내고 있다. 노르에피네프린의 변화 추이는 에피네프린과 마찬가지로 전반적으로 참고치 (800pg/nℓ 미만)을 벗어나지 않았다. 그러나 140일째 되는 비육기간시에는 혈액내 노르에피네프린이 높아지는 것을 볼 수 있다. 이 기간에서는 공기정화기 설치군과 공기정화기 미설치군 모두 높은 농도를 나타냈으며, 이는 공기정화기의 영향이 아닌 외부조건에 의하여 스트레스를 받았을 것으로 추정된다. 이는 Bart(2007)가 연구한 내용에 의하면 에피네프린과 동일하게 노르에피네프린의 혈액내 농도도 높아진다는 것과 일치하는 내용을 볼 수 있다. 하지만 역시 에피네프린과 동일하게 체중이 급격히 늘어남에 따라 스트레스 호르몬이 높아진다는 것은 실제로 스트레스를 받지 않아야 된다는 전제조건이 내포되어 있어야 하는 무리가 따르므로 앞으로 많은 연구가 필요하다 사료된다.

노르에피네프린은 교감 신경계의 신경 전달 작용을 하는 부신수질에서 에피네프린과 함께 추출되는 호르몬이다. 노르아드레날린(noradrenaline)이라고도 한다. 각성제 신경 물질로서 돼지의 전투적인 성향을 결정해 주는 역할을 한다. 스트레스 대응 호르몬은 주로 부신 수질에서 분비되는 에피네프린, 노르에피네프린 및 부신 피질에서 생성되는 당류코르티코이드를 일컫는다(Herman et al., 2003). 특히, 에피네프린, 노르에피네프린은 신체가 단기간 스트레스를 받을

때 심박수증가, 기관지확장, 당원(glycogen)의 포도당으로의 분해 등을 촉진하여 스트레스에 대처케 하는 기능을 수행하는 물질로 알려져 있다. 당류코르티코이드는 지방 또는 단백질의 포도당 전환, 부종 및 통증 감소, 항염증작용 등을 통해 스트레스로 인해 신체 기능이 저하되는 것에 저항하는 물질로 알려져 있는 반면 과다하게 지속적으로 생성이될 때에는 T 임파구 분화 및 활성 억제와 같은 면역 억제작용도 있는 것으로 알려져 있다(Carrasco and Van de Kar, 2003). 이러한 배경에서 이들 스트레스 대응호르몬의 혈청내 수준변화는 각 개체가 어느 정도 외부 스트레스를 받고 있는지를 평가하는데 있어서 표식자로서 인용되고 있다.



<그림 53> 돼지 사육단계별 노르에피네프린의 변화 추이

(2) 돈육 (돼지 도체) 품질의 안전성 평가 비교

(가) 육색

공기정화기 설치군에서 출하된 돼지들의 평균 육색은 4.21 ± 0.75 , 미설치군에서 출하된 돼지들의 평균 육색은 4.18 ± 0.64 이었으나, 등급 측면에서는 공기정화기 설치시와 미설치시 모두 1+ 등급이 8두, 1등급이 2두로 동일한 결과를 나타내었다 (<표 11> 참조). 따라서 도체 육색 측면에서 공기정화기가 설치된 돈사에서 사육된 돼지들과 미설치된 돈사에서 사육된 돼지들 간의

Table 11. Comparison of meat color between the treatment and the control

	Treatment (W/ Air cleaner)	Control (W/O Air cleaner)
N	10	10
Meat Color	4.21	4.18
S.D	0.75	0.64
1+ Class (No. 4&5)	8	8
1 Class (No. 3&6)	2	2
2 Class (No. 2&7)	-	-

차이는 거의 없는 것으로 판단된다. 이는 적은 돼지 개체수 (총 20두)를 대상으로 평가한 점과 일반 사육농가와 달리 본 연구가 수행된 기관의 사육관리가 상대적으로 양호했기 때문이라 사료된다.

(나) 근간지방 두께

<표 12>에 나타난 바와 같이 공기정화기 설치군 돼지들의 평균 근간지방 두께는 22.34±6.39mm, 미설치군 돼지들의 평균 근간지방 두께는 16.97±5.48mm였다. 등급 측면에서는 공기정화기 설치군의 경우 A등급이 1두, B등급이 5두, C등급이 4두였고, 미설치군의 경우 A등급이 2두, B등급이 3두, C등급이 5두로 조사되었다. 따라서 등급만의 결과 측면에서는 공기정화기 설치군과 미설치군의 차이는 오히려 A등급이 많은 미설치군에서 더 좋은 것으로 보이나, 평균치 측면에서는 공기정화기 설치군의 평균 수치인 22.34mm가 A등급인 22mm에 더 가까운 것으로 나타났다. 따라서 근간지방 두께 측면에서 공기정화기 설치 효과를 명확히 규명하기 위해서는 지금보다 많은 돼지 개체수를 대상으로 추가적인 연구가 필요하다.

Table 12. Comparison of Intermuscular fat between the treatment and the control

	Treatment (W/ Air cleaner)	Control (W/O Air cleaner)
N	10	10
Intermuscular fat(mm)	22.34	16.97
S.D	6.39	5.48
A Class (22mm)	1	2
B Class (10~25mm)	5	3
C Class (8~28mm)	4	5

(다) 최종 도체 규격등급

<표 13>은 공기정화기 설치군과 미설치군에서 출하된 총 20두 돼지의 도체 최종 규격 등급을 보여주는 것이다. 최종 도체 등급 결과 공기정화기 설치군의 경우 A등급은 1두, B등급은 6두, C등급은 1두, D등급은 1두였고, 미설치군은 A등급은 2두, B등급은 5두, C등급은 2두, D등급은 1두로 조사되어 오히려 미설치군에서 A등급이 1두가 더 많았으나 전반적으로는 차이가 없다고 볼 수 있다. 따라서 돼지 도체 최종 규격등급에 대한 공기정화기의 효과를 명확히 규명하기 위해서는 육색과 근간지방두께에서 이미 언급한 바와 같이 지금보다 많은 개체수를 대상으로 비교 연구할 필요가 있다.

Table 13. Comparison of the meat quality rank between the treatment and the control

	Treatment (W/ Air cleaner)	Control (W/O Air cleaner)
N	10	10
A Class	1	2
B Class	6	5
C Class	2	2
D Class	1	1

2. 돼지의 생산성 지표 항목들과 공기오염물질들간의 상호 연관성 분석

가. 연구 방법

SPSS (ver. 17.0) package program을 이용하여 6개월 동안 돈사 현장 실증 실험을 통해 얻어진 공기오염물질 측정 데이터와 체혈을 통해 분석된 돼지생산성 지표들과의 통계적 상관성을 Pearson's correlation analysis method를 가지고 분석하였다.

나. 연구 결과 및 고찰

<표 14>는 돼지 생산성 지표와 공기오염물질간의 상관성을 통계적으로 분석하여 돼지 사육에 필요한 기초 자료로서 활용하기 위한 것이다. 따라서 공기정화기의 처리 효과를 규명한다라기 보다는 양돈농가에 공기정화기 장비 보급을 위한 기본 부가자료로서 제공하기 위해 수행되었다.

분석 결과 공기오염물질 중에서는 TSP와 PM₁₀의 결과가 통계적으로 유의한 양의 상관성을 보였는데 (P<0.01), 이는 기존 여러 문헌들과 연구 결과들을 통해 이미 입증된 사실이다. 돼지의 생산성 지표 중 사료요구율과 증체량 결과가 통계적으로 유의한 양의 상관성이 있는 것으로 분석되었는데 (P<0.01), 돼지의 증체량과 사료요구율은 서로 양의 상관성이 있음을 규명한 기존 연구 자료에 의해 뒷받침된다. 스트레스 호르몬인 에피네프린과 노르에피네프린도 서로 통계적으로 유의한 양의 상관성을 보였는데 (P<0.01), 이 결과 또한 기존 자료에 의해 이미 입증된 바이다.

본 분석결과에서 특이할만한 사항은 입자상 물질 중 하나인 TSP와 PM₁이 돼지의 증체량이 통계적으로 양의 상관성을 나타내었는데 (P<0.05), 이는 분진 증가에 의한 돈사 실내 공기질 악화가 오히려 돼지의 증체량을 향상시킨 것으로 쾌적한 돈사 환경이 돼지의 생산성에 긍정적인 효과를 보인다는 기존의 연구 결과와 대치되는 것이다. 또한 사료요구율과 콜티줄의 농도가 통계적으로 양의 상관성을 나타내었는데, 이는 콜티줄의 농도가 높아짐으로 인해 혈류량이 증가하고 소화기능의 대사작용이 활발하게 일어난다는 연구 결과

(Cynthia et al., 1997)에 근거했을 때 돼지 체내에 들어온 사료가 증체량으로 전환시 혈액 내 코티졸 호르몬이 상당한 역할을 한 것으로 사료된다.

Table 14. Correlation relationship between air pollutants and pig productivity index

	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁	증체량	사료 요구 율	PAI	폐사율	Epi.	Norepi.	Cortisol
TSP	1										
PM ₁₀	.973**	1									
PM _{2.5}	.971**	.996**	1								
PM ₁	.673	.507	.535	1							
증체량	.931*	.836	.854	.888*	1						
사료요구율	.847	.749	.784	.928*	.970**	1					
PAI	.076	.019	.032	.441	.198	.351	1				
폐사율	-.541	-.499	-.508	-.295	-.532	-.395	.714	1			
Epi.	.048	-.177	-.151	.727	.384	.443	.266	-.157	1		
Norepi.	.008	-.219	-.209	.684	.322	.367	.338	-.043	.981**	1	
Cortisol	.711	.641	.681	.851	.831	.926*	.645	-.035	.342	.293	1

* p<0.05, ** p<0.01

3. 비용편익 분석을 통해 공기정화기 설치 적용에 따른 양돈 농가의 경제적 이익 산출

가. 연구 방법

축산물등급판정소에서 제시하고 있는 도체 kg당 경매가격 자료를 근거로 공기정화기 설치군과 미설치군에서 출하된 돼지들의 편익과 공기정화기 제작 및 운용에 소요되는 비용을 서로 비교 평가하였다.

나. 연구 결과 및 고찰

축산물 등급 판정소의 경우 돼지 도체 가격을 실시간으로 경매하기 때문에 공기정화기 설치군과 미설치군에서 출하된 돼지들의 가격 비교를 위해 어느 일정 시점 (2010년 3월 17일의 A 등급)의 경매 가격을 기준으로 하였으며, 아래와 같이 비용 편익이 산출되었다.

- 공기정화기 설치시
: 출하된 10마리 돼지 도체의 평균 중량 (102.4kg)
× kg당 경매 가격 (5,134.1원) = 525,731.84원
- 공기정화기 미설치시
: 출하된 10마리 돼지 도체의 평균 중량 (92.4kg)
× kg당 경매 가격 (5,134.1원) = 474,390.84원
- 비용 편익
: 525,731.84원 (공기정화기 설치) - 474,390.84원 (공기정화기 미설치)
= 51,341원 (두당)

이를 근거로 1,000두를 사육하는 중규모 양돈 농가가 공기정화기를 설치하여 1년 경영시 발생하는 비용 편익은 아래와 같다.

$$\square 51,341\text{원 (두당)} \times 1,000\text{두} \times 2\text{회전(1년)} = 102,682,000\text{원}$$

따라서 약 1억원의 비용 이득의 결과를 보였다. 하지만 본 연구 결과 해석시에는 입식된 돼지들의 전수 (총 120마리) 조사 결과가 아닌 20마리의 표본 조사로 수행되었고, 공기정화기의 제작 비용과 운영 비용을 현재로서는 정확한 산정이 불가능하여 누락하였 때문에 비용 편익에 영향을 미칠 수 있는 보다 포괄적인 요인에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

또한 축사 실내공기질을 제어하기 위해 적용된 기존 처리 시스템들은 주로 악취와 같은 가스상 오염물질이나 분진 등의 입자상 오염물질을 저감 대상으로 하기 때문에 공기감염성 가축 질병의 주요 인자인 부유 미생물을 주 저감 대상으로 하는 본 공기정화기와의 객관적 경제성 비교 평가는 현실적으로 어렵다. 향후에는 돼지 질병 예방 측면에서의 경제성 분석을 통한 항생제 사용 저감 가능성 검토를 위해 본 연구를 통해 개발된 공기정화기의 돈사 적용 유무에 따른 비교 현장 실증 평가가 요구되는 바이다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 돼지 공기감염성 질병예방을 위한 돈사 맞춤형 공기정화기 개발 (1차년도)

연구목표	평가 착안점	달성도 (%)	관련분야 기술발전 기여도 (%)
돈사내 공기오염물질 발생 정도를 파악하기 위한 현장 조사	돈사 유형에 따른 공기오염물질 (가스상, 입자상, 생물학상)의 농도 및 발생량 산정화	100	축산시설환경 분야 (70%) 산업보건 분야 (50%)
돈사내 공기오염물질 제거를 위한 공기정화기 제작 및 개발	활성수소 발생을 통한 플라즈마 이온 방식의 공기정화기 제작 및 개발	100	공기청정기술 분야 (60%)
Chamber Test를 통한 개발된 공기정화기의 제균 능력 사전 평가	Chamber내 개별 부유 미생물 살포를 통한 공기정화기 가동/미가동에 따른 저감 효율 분석	100	환경측정분석 분야 (60%)

제 2 절 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돈사내 공기오염물질 저감 효율 현장 실증평가 (2차년도)

연구목표	평가 착안점	달성도 (%)	관련분야 기술발전 기여도 (%)
돈사 현장 적용 실증 평가를 위한 공기정화기의 제작 및 설치	평가 대상 돈사 현장에 플라즈마 이온 방식 및 수세식 필터를 접목한 공기정화기의 제작 및 설치	100	축산환경 분야 (40%) 공기청정기술 분야 (60%)
돈사 유형별/계절별 공기오염물질 저감 효율성 평가를 통한 측정 데이터의 작성	돈사 유형 (임신/분만돈사, 자돈사, 육성/비육돈사) 및 계절 (봄, 여름, 가을, 겨울) 에 따른 가스상 (암모니아와 황화수소), 입자상 (TSP, PM10, PM2.5, PM1), 생물학상 (부유세균과 부유진균) 공기오염물질의 저감 효율성을 대조군과 비교하여 평가	100	축산시설환경 분야 (60%) 환경보건기술 분야 (70%)
공기오염물질 저감 효율성 평가에 근거한 공기정화기의 운용 최적화 방안 제시	본 연구에서 개발된 공기정화기의 최적의 저감 효율성을 유도할 수 있는 돈사 유형 및 운용 전략 도출	90	기술응용화 분야 (50%)

제 3 절 개발된 공기정화기의 적용에 따른 돼지의 생산성 및 안전성 향상 현장 실증평가 (3차년도)

연구목표	평가 착안점	달성도 (%)	관련분야 기술발전 기여도 (%)
공기정화기 적용에 따른 돼지의 생산성 평가	공기정화기가 설치된 돈사 (실험군)과 미설치된 돈사 (대조군)에서 돼지 출생에서 출하시까지의 성장 전체 기간인 0개월 동안 0일 (분만 직후), 21일 분만 후~이유 전), 70일 (이유 후~자돈), 140일 (자돈~육성기), 180일 (육성기~비육기 표 성장 단계별로 구분하여 돼지의 생산성 지표를 측정하여 비교	100	동물자원과학 분야 (50%) 축산시설환경 분야 (30%)
공기정화기 적용에 따른 돈육의 안전성 평가	공기정화기가 설치된 돈사 (실험군)과 미설치된 돈사 (대조군)에서 최종 출하된 돼지들의 도체 분석 비교를 통해 수행	100	축산물 위생 및 안전 분야 (60%)
돼지의 생산성 지표 항목들과 공기오염물질들간의 상호 연관성 분석	돈사 현장 실증 실험을 통해 얻어진 측정 데이터를 통계적 상관분석을 통해 산출	100	환경보건기술 분야 (40%)
비용편익 분석을 통해 공기정화기 설치 적용에 따른 양돈 농가의 경제적 이익 산출	돼지의 생산성 향상과 돈육의 안정성 확보에 기여하는 공기정화기의 효능 정량화	80	기술상용화 분야 (30%) 산업경제 분야 (30%)

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 실용화/산업화 방향

1. 사람이나 동물에게 노출되어도 전혀 무해한 OH- 라디칼을 이용한 공기 정화기를 개발하여 친환경 축산을 표방하는 국가 정책에 적합한 모델 구축
2. 돼지 (구제역, 4P 소모성 질환), 닭(조류독감, 코로나바이러스) 등 사회적으로 문제시되고 있는 가축 질병에 대한 저감 효과 검증을 통한 폐사율 감소
3. 돈사 형태별 맞춤형 공기 정화기를 보급하여 축사환경 개선 및 가축의 생산성 및 안전성 확보 도모
4. 가축 뿐 아니라 돈사 작업자에게도 쾌적한 작업 환경 조성

제 2 절 교육/지도홍보 등 기술확산 계획

1. 최근들어 구제역, 조류독감 등과 같은 공기감염성 가축질병 발병 및 확산이 기후변화로 인해 예측될 수 없는 상황이기 때문에 본 연구를 통해 개발된 기술을 국내/외 학회에 발표하여 다방면으로 소개
2. 다른 지역에 비해 축산 농가가 집중화되어 있고 과거 공기감염성 가축질병 피해 사례가 상대적으로 높거나 발병 잠재성이 높은 지자체를 대상으로 축산정책과 등의 관련 부처와의 접촉을 통한 본 기술의 적극적인 홍보
3. 축산 농가 방문을 통한 현장 컨설팅 지도 및 축산업 종사자들을 대상으로 하는 친환경 실용화 교육 사업에 참여하여 본 기술에 대한 효율성 인식 제고

제 3 절 지식재산권 확보 계획

1. 특허 측면

공기정화기술과 관련한 기존 특허는 대부분 사람들이 거주하여 생활하는 일반 실내공기질 분야에 치중되어 있으므로, 본 연구과제를 통해 개발된 기술은 축사 실내환경 중 공기감염성 가축질병을 유발하는 부유 미생물의 제균 효과를 부각시켜 신규 특허를 출원할 계획임.

또한 연구 종료 후에도 후속 보완 현장 연구를 통해 본 공기정화기의 부가적인 요소(단위별

공기정화기 개수 및 비용 계산)를 현재의 결과보다 객관적으로 산출하여 향후 기술이전 및 시
작품 상용화의 시기를 앞당길 계획임

2. 논문 측면

가축질병예방과 관련하여 발표된 기존 논문들은 주로 첨가제(사료첨가제, 항생제) 분야에 치중
되어 있으므로, 본 연구를 통해 개발된 기술은 돈사 실내공기 중 제균을 주요 초점을 둔 공학적
측면과 가축 질병의 사전 예방을 위한 환경 보건학적 측면을 모두 포함하고 있어 다양한 분야의
국내외 학회지에 투고하여 발표할 예정임

※ 투고 예정 학회지

- 국외 저널 : Biosystems Engineering, Bioresource Technology, Annals of Agricultural
and Environmental Medicine

- 국내 저널 : 한국동물자원과학회지, 한국축산시설환경학회지, 한국환경보건학회지, 한국실
내환경학회지

제 4 절 추가연구 및 타연구에의 활용 계획

1. 본 연구를 통해 개발된 공기정화 기술은 돈사만을 대상으로 국한하였고, 이로 인해 돼지 공
기감염성 질병 유발인자인 부유 미생물 제균 측면에서만 현장 적용 평가만을 수행하였기 때문
에 추후 기사 내부에 분포하는 부유 미생물의 제균 연구에도 본 기술을 활용할 계획임

2. 무항생제에 의한 가축 사육 방식으로의 전환과 동물 복지 측면이 강조되는 최근의 상황
을 고려한다면 본 연구를 통해 개발된 공기정화기술이 본 분야에 대해 어느 정도 긍정적인
기여 효과를 유발할 것인가에 대한 추가 평가도 향후 수행할 계획임

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. Sterilizing method, sterilizing apparatus, and air cleaning method and apparatus

- 개요 : sterilizing method and apparatus in which neutral atoms and anions are coupled to produce a sterilizing substance which is, in turn, used to remove an object to be removed by sterilization. The sterilizing apparatus includes a cation generator and an anion generator, which are separate from each other. Also disclosed as an air cleaning method and apparatus using the sterilizing method and apparatus.

2. Ion generating apparatus and air cleaning apparatus

- 개요 : An ion generating apparatus for generating anions and cations, which can selectively control generation of cations and anions while maximizing the amount of the generated ions, and an air cleaning apparatus using the same. The ion generating apparatus includes a power supply, a cation generator to generate cations and ozone, using a voltage supplied from the power supply, an anion generator separated from the cation generator to generate anions, using the voltage supplied from the power supply, and a switching unit to switch on/off the supply of the voltage from the power supply to the cation generator and/or the anion generator. If necessary, the ion generating apparatus further includes an ion generation controller to control the switching unit, and thus, to control driving of the cation generator and/or anion generator

3. Ion generation apparatus

요약 : An ion generation apparatus The ion generation apparatus includes: an ion generator including a positive ion generation electrode and/or a negative ion generation electrode, for receiving a high voltage to generate ions; a high voltage generator for applying a high voltage to the ion generator; and a controller for changing the high voltage applied to the ion generator. The ion generation apparatus can easily change the quantity of positive(+) or negative(-) ions generated from the ion generator by changing a high voltage applied to an electrode of the ion generator so that a user can conveniently use the ion generation apparatus irrespective of installation environments.

제 7 장 참고문헌

Aarnink AJA, van der Berg AJ, Keen A, Hoeksman P, Verstegen MWA. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behavior of growing pigs. *J Agric Eng Res* 1996; 64:299-310.

Barber, E. M., Dawson, J. R., Battams, V. A., and Nicol, R. A. C. 1991. Spatial variability of airborne and settled dust in a piggery. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 50:107-127.

Bart M. Interaction of viruses with porcine Embryos(PhD) aan de Faculteit Diergeneeskunde, University Gent. 2007

Bicudo JR, Schmidt DR, Gay SW, Gates RS, Jacobson LD, Hoff SJ. Air quality and emissions from livestock and poultry production waste management systems. National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers, North Carolina State University, Raleigh, N.C. 2002.

Carrasco GA and Van de Kar LD. Neuroendocrine pharmacology of stress. *European Journal of Pharmacology* 2003;463:235-272

Chiba LI, Ju ER, Lewis AJ. Use of dietary fat to reduce dust, aerial ammonia and bacterial colony forming particle concentrations in swine confinement buildings. *Trans ASAE* 1987; 30: 464-468.

Cynthia MO, Christopher TH, Eilynn SJ, Paul L, Sandhia V, Rebecca LR, and Stephen ED. Laboratory Exercise using virtual rats to teach endocrine physiology. *The American Physiological Society*. 1997;273:24-40.

Donham KJ, Scallon LJ, Pependorf W. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1986; 47: 404-410.

Elenkov IJ, Chrousos GP. Stress hormones, Th1/Th2 patterns, pro/anti-inflammatory cytokines and susceptibility to disease. *Trends in Endocrinology and Metabolism* 1999;10:359-368

Gay SW, Schmidt DR, Clanton CJ, Janni KA, Jacobson LD, Weisberg S. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *Appl Eng Agric* 2003; 19(3):347-360.

Grinshpun, S. A., Adhikari, A., Honda, T., Kim, K. Y., Toivola, M., Rao, K. S. R. and Reponen, T. 2007. Control of aerosol contaminants in indoor air: combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. *Environmental Science & Technology*. 41(2):606-612.

Groenestein CM. Animal waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: Field studies. In *Proceedings of International Livestock Environment*

Symposium IV, Warwick, England, 6–9 July. ASAE. p. 1169–1175. 1993.

Groot J, Ruis MAW, Scholten JW, Koolhaas JM, Boersma WJA. Long-term effects of social stress on antiviral immunity in pigs. *Physiology & Behavior* 2001;73: 145–158.

Grub W, Rollo CA, Howes JR. Dust problems in poultry environments. *Trans ASAE* 1965; 8:338–339.

Heber AJ, Stroik M. Influence of environmental factors on dust characteristics in swine finishing houses. *Proceedings of International Livestock Environment Symposium III*, Ontario, Canada, 25–27 April. p. ASAE 291–298. 1988.

Herman JP, Figueiredo H, Mueller NK, Ulrich-Lai Y, Ostrander MM, Choi DC, Cullinan WE. Central mechanisms of stress integration: hierarchical circuitry controlling hypothalamo-pituitary-adrenocortical responsiveness. *Frontiers in Neuroendocrinology* 2003;24: 151–180.

Jacobson L, Johnston L, Hetchler B, Janni K. Odor emissions control by sprinkling oil for dust reduction in pig buildings. *Trans of the ASAE* 2000;56:413–420.

Kerr BJ, Ziemer CJ, Weber TE, Trabue SL, Bearson BL, Shurson GC, Whitney MH. 2008. Comparative sulfur analysis using thermal combustion or inductively coupled plasma methodology and mineral composition of common livestock feedstuffs. *Journal of Animal Science*.

Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim CN, Byeon SH. Association between pig activity and environmental factors in pig confinement buildings. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 2008;48:680 - 686

Kim, K. Y., H. J. Ko, K. J. Lee, J. B. Park, and C. N. Kim. 2005. Temporal and spatial distribution of aerial contaminants in an enclosed pig building in winter. *Environmental Research*. 99(2):150–157

Klooster CE, Roelofs PFMM, Gijsen PAM. Positioning air inlet and air outlet to reduce dust exposure in pig buildings. *Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV*, Warwick, England, 6–9 July. ASAE; 1993. p. 754–761.

Liao CM, Bundy DS. 1994. Bacteria additives to the changes in gaseous mass-transfer from stored swine manure. *J. Environ. Sci. Health*. 29:1219 - 249.

Marthi, B. and Lighthart, B. 1990. Effects of betaine on the enumeration of airborne bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 56:1286–1289.

MWPS. Swine housing and equipment handbook, MWPS-8. Ames, Iowa: Midwest Plan Service; 1988.

NCSU (North Carolina State University). Biofilter for removing odorous compounds in exhaust from swine buildings. *Animal and Poultry Waste Management Research: A Progress Report*, July 15. 1997.

Ni JQ, Heber AJ, Diehl CA, Lim TT. Ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits. *Journal of Agricultural Engineering Research* 2000;77:53–66.

NIOSH. Sampling and characterization of bioaerosols. In *Manual of Analytical Method*. Paul AJ. and Schafer MP. (eds). Cincinnati, Ohio, USA. 1998.

Ott EA. Influence of temperature stress on the energy and protein metabolism and requirements of the working horse. *Livestock production Science* 2005;92: 123–130.

Parbst, K. E., Keener, K. M. Heber, A. J., and Ni, J. Q. Comparison between low-end discrete and high-end continuous measurements of air quality in swine buildings. *Applied Engineering in Agriculture*. 2000;16(6):693–699.

Pouliot TM, Seedorf J, Rutley DL, Pitchford WS. 2010. 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.

Robertson, J. H. and Frieben, W. R. 1984. Microbial validation of ven filters. *Biotechnology and Bioengineering*. 26:828–835.

Roussel S, Hemsworth PH, Boissy A, Duvaux–Ponter C. Effects of repeated stress during pregnancy in ewes on the behavioural and physiological responses to stressful events and birth weight of their offspring. *Applied Animal Behaviour Science* 2004;85:259–276.

Rumsey IC. 2010. Characterizing reduced sulfur compounds and non-methane volatile organic compounds emissions from a swine concentrated animal feeding operation. A dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

Seedorf J, Hartung J, Schroder M, Linkert KH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Pederson S, Takai H, Johnsen JO, Metz JHM, Koerkamp PWG, Uenk GH, Wathes CM. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998; 70: 97–109.

Sheridan B, Curran T, Dodd V, Colligan J. 2000. Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit : a pilot-scale study. *Biosystems Engineering* 82:(4);441 - 53.

Sheridan BA. 2009. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. *Bioresource Technology* 84;129 - 43.

Swierstra D, Smits MCJ, Kroodsma W. Ammonia emission from cubicle houses for cattle with solid floors. *J Agric Eng Res* 1995; 62:127–132.

Takai H, Pederson S, Johnsen JO, Metz JHM, Koerkamp PWG, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Hartung J, Seedorf J, Schroder M, Linkert KH, Wathes CM. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998; 70: 59–77.

Thorne, P. S., Niekhaefer, M. S, Whitten, P., and Donham, K. J. 1992. Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Applied and Environmental Microbiology*. 58(8):2543–2551.

Varel VH, Miller DN. Plant-derived oils reduce pathogens and gaseous emissions from stored cattle waste. *Applied and Environmental Microbiology* 2001;128:1366-1370.

Walter, M. V., Marthi, B., Fieland, V. P., and Ganio, L. M. 1990. Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival. *Applied and Environmental Microbiology*. 56:3468-3472.

Webel DM, Finck BN, Baker DH, Johnson RW. Time course of increased plasma cytokines, cortisol, and urea nitrogen in pigs following intraperitoneal injection of lipopolysaccharide. *Journal of Animal Science* 1997;75:1514-1520

Ye Z, Sahab CK, Lic B, Tongd G, Wang C, Zhua S and Zhang G. 2009. Effect of environmental deflector and curtain on air exchange rate in slurry pit in a model pig house. *Biosystems Engineering* 104(4);522-533.

Yoder MF, VanWicklen GL. Respirable aerosol generation by broiler chickens. *Trans ASAE* 1988;31: 1510-1517.

Zhu J, Riskowski GL, Torremorell M. Volatile fatty acids as odour indicators in swine manure-A critical review. *Transactions of the ASAE* 1999;42:175-182.

김기연, 최홍립, 고한중, 이용기, 김치년. 2006. 생물학적 첨가제 살포에 의한 밀폐형 돈사에서 악취 저감 평가. *한국동물자원과학회지*. 48(3):913-918.

농림부 내부자료 <http://www.mifaff.go.kr>. 2009

농촌진흥청. 2005. 축산악취 제어를 위한 바이오필터 적용 연구. 내부자료.

오인환, 김운걸, 김주상, 구분영, 이연화. 2008. 생물생산시설 및 환경공학 분야 : 육성돈사에서 습식공기정화기의 공기정화 효율 분석. *한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집*. 13(1):48-52.

원승호, 김영권. 2010. 오존 정화시스템을 이용한 축사내 공기정화 효과. *한국태양에너지학회 논문집*. 30(1);13-18.

최훈창, 유명중, 노환국, 김장규. 2007. 오존 살균수 적용에 의한 돈사의 환경개선 연구. *한국 EHS 평가학회지*. 5(2);11-17.

※ 보고서 겉표지 뒷면 하단에 다음 문구 삽입

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.