

축사용 습식 공기정화시스템 개발
Development of a wet air cleaner
for the animal housing

건국대학교

농 립 부

최종보고서

2008년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 축사용 습식 공기정화시스템 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 7부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2008년 4 월 일

주관연구기관 : 건국대학교

총괄연구책임자 : 오 인 환 (인)

주관연구기관장 : 산학협력단장

농림부장관 귀하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “축사용 습식 공기정화시스템 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 4월 일

주관연구기관명 : 건국대학교
총괄연구책임자 : 오인환
연구원 : 김운걸
연구원 : 이종현
연구원 : 이한성
연구원 : 김주상
연구원 : 이경훈
연구원 : 이정훈
연구원 : 이동섭
협동연구기관명 : 두레친환경농업연구소
협동연구책임자 : 강정일
연구원 : 김정부
협동연구기관명 : 서울대학교
협동연구책임자 : 이인복

CONTENTS

I. Development of a wet air cleaner for the animal housing	1
II. A feasibility study on development of a wet air cleaner for livestock housing	45
III. Ventilation study of pighouse for effective application of a developed wet air cleaner	91

목 차

I. 축사용 습식 공기정화시스템 개발	1
II. 축사용 습식 공기정화시스템의 경제성 분석	45
III. 습식 공기정화시스템의 효율적 운용을 위한 돈사의 환기분석 연구	91

I. 축사용 습식 공기정화시스템 개발

Development of a wet air cleaner for the animal housing

주관연구기관명 : 건국대학교

총괄연구책임자 : 오인환

연구원 : 김운결

연구원 : 이종현

연구원 : 이한성

협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 이인복

협동연구기관명 : 두레친환경농업연구소

협동연구책임자 : 강정일

연구원 : 김정부

요 약 문

I. 제 목

축사용 습식 공기정화시스템 개발
(Development of a wet air cleaner for the animal housing)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

먼지는 사료, 돈사바닥, 돼지의 피부, 돈사자재 등에서 발생하며 생물적인 근원에서 발생하는 먼지를 바이오에로졸이라고 한다. 바이오에로졸은 생물체에 전염성이 커서 독성으로 작용하거나 알레르기적 반응을 일으킨다. 암모니아가스는 슬러리와 분변의 표면에서 발생하여 돈사내의 공기를 오염시킴으로써 가축과 작업자의 건강을 해치게 된다. 바이오에로졸은 직업병(농부 폐)을 일으키기도 하며 암모니아는 가축의 폐렴과 성장지연을 유발한다.

축사에서 발생하는 암모니아가스, 먼지 등을 제거하고 가축의 생산성을 향상시키기 위하여 축사 내 공기를 정화시켜 깨끗한 공기를 가축에게 제공해줄 목적으로 습식 공기정화기를 개발한다. 그러므로써 가축에게 최적의 환경을 제공하여 생산성을 높인다.

습식공기정화기의 설계제작과 축산현장에 적용하여 암모니아와 악취감소효과, 먼지제거 효과, 오존의 순환수 살균효과 등을 분석하고 가축의 생산성 향상을 조사하여 경제성을 분석한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

습식공기 정화기는 실내 부유하는 먼지 입자를 빨아들이는 흡입장치를 가지고 있다. 흡입장치로 유입된 먼지 입자가 오존발생장치에서 오존수를 생성하여 다층 원심회전체를 통하여 미세 물 필터층을 통과하는 과정에서 물 입자와 충돌하면서 먼지를 1차적으로 제거하며, 각종 세균이 오존과 만나 살균되면서 함께 여과장치로 배출된다. 여과장치는 먼지와 물을 분리하는 거름망 구조로서 거름망을 통과한 물은 수조와 연결되어 다시 오존발생장치로 순환되도록 제어하는 제어장치와 이러한 과정을 통하여 정화된 공기를 배출하는 배출장치로 구성되었다

냄새의 주성분을 이루는 것이 암모니아이며 암모니아의 물에 잘 녹는 성질을 이용하여 순환수로서 회수하게 되는데, 축사내 지정된 장소에서 암모니아의 감소효과를 연속측정방법으로 수행한다. 축사내의 공기중에 함유되어 있는 먼지감소 효과를 사용전과 후에 분진계를 이용하여 측정한다. 악취는 다분히 주관적이며 이것을 객관화하기 위하여 국제적으로 공인

된 방법으로 냄새의 세기, 강도, 쾌불쾌 등을 악취관능시험기를 이용하여 축사내의 공기를 채집하고 분석하여 수치화 하였다. 습한 곳은 미생물이 번식하기에 좋은 조건을 마련한다. 본 기술에서 순환수가 여기에 해당되기 때문에 오존으로 살균을 하게 되는데, 그 효과를 미생물학적인 방법으로 샘플을 배양하여 미생물 군락의 감소로써 분석하였다. 기축의 증체량, 질병감소, 폐사율 등을 기준으로 하여 비육효과와 육성효과를 조사하며 경제성을 분석하였다.

또한, CFD 시뮬레이션을 이용하여 습식 공기정화기의 성능을 향상시키고, 적정위치를 모색하기 위하여 한정된 수의 공기정화기의 위치를 다양하게 변화시켜 시뮬레이션을 하였다. 이 시뮬레이션을 통하여 습식 공기정화 시스템이 돈사 내의 기후 분포에 미치는 영향을 연구하였으며, 보다 정확한 CFD 시뮬레이션 모델의 정확도 향상을 위하여 현장실험을 병행하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 기술은 기존의 산업용처럼 고비용의 필터를 교체하지 않는 기술적인 특성을 지니고 있으며, 또한 흡입된 실내공기가 미세한 물 필터를 통과하여 신선한 공기를 실내에 공급하여 실내 환경을 개선하고, 특히 겨울철에는 난방으로 인한 건조한 실내에 적절한 습도를 유지할 수 있다는 장점이 있다. 본 제품이 축산 농가에 공급되면 친환경 축산으로 인한 인근 생활주택으로부터 민원 발생 소지를 줄일 수 있고, 폐사율과 각종 질병의 원인이 되는 유해가스 발생을 억제하여 보다 좋은 고품질의 닭고기, 돼지고기를 생산하여 수입대체 및 수출을 증대할 수 있는 획기적인 축산환경 개선 기술이라 할 수 있다.

B/C ratio 부녀에서 비육돈의 경우에는 6.41로 육계의 경우에는 1.8로 나타나 축사용 습식공기정화시스템은 경제성이 있다고 판단된다.

돼지의 경우에 육성율이 좋아져 관행방법보다 1두가 더 육성된다고 하면 모든1백만에 연간회전율 2.4회, 그리고 마리당 9만원이라고 한다면 2,160억원의 생산성 증가를 볼 수 있다. 여기에다 비육돈과 육계, 증체 등으로 인한 생산성 향상을 감안한다면 최소 연간 약 3천억원의 생산성 증대가 예상된다. 국내외의 시장규모를 예측하면 국내에 예상보급 대수는 약 1만4천대로 약 1천2백억 원의 시장규모이며, 해외수출로 인한 국외 보급 대수는 약 41만대로 3조 5천억원의 시장규모로 예상된다.

농가보급이 용이하여 이용이 확대될 수 있도록 정부 보조사업 등으로 선정되어서 농가부담을 줄여야 할 것이다.

SUMMARY

The climate of stall significantly influence on animal production ability. High concentration of ammonia gas, CO₂, and lots of dust are found in modern densely raising stall system, as results, they provide a negative influence on animal and farmer health, and production ability. Therefore, it is necessary to keep clean the inside of stall air to increase the productivity. A wet type air cleaner, consisting of a fan, monitor, rotating discs, a dust collector, a water bowl, an ozone generator etc, has been developed to clean the stall air. The work principle is that the inside air are sucked through the fan, and the rotating discs make a water into a fineness spray and blows into the stall. The rest water flows down to the dust collector. Then the ozone generator pasteurizes the microorganism in water and the water circulates the circuit. The spray can take the dust, ammonia gas, and odor from the stall inside air and give back to the circulating water. The water can be refreshed within 30 minutes to 2 hours after the cleanliness of the water.

We installed the wet air cleaner in different farms, such as windowless swine fattening stall, broiler stall, swine finishing curtain stall and swine raising stall. All of the swine cases showed a good results. For example of a case of swine finishing curtain stall, we measured the ammonia gas, dust, odor, temperature and humidity in a swine stall that were installed two wet air cleaners with 700 fattening swine with on-mode and off-mode of wet air cleaners. In fall, the concentrations of ammonia gas in off-mode stall were maximum 24ppm and minimum 16ppm, and the average was 18.2ppm. However in on-mode stall the ammonia gas concentrations were maximum 7ppm and minimum 1ppm, and the average was 2.7 ppm. The concentration of ammonia gas in on-mode was 74% lower than off-mode stall. Odor was measured by olfactometer. In the off-mode stall, the odor unit was 3,800 OU/m³, but in the on-mode stall the odor unit was 2,100 OU/m³. Odor removal efficiency was about 45% in on-mode stall. The dust measure was divided into 3 categories, PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0}. Whereas the PM₁₀ showed no significant differences between the tests, PM_{2.5} and PM_{1.0} in the fine particle range reduced remarkably in the on-mode.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of research and development	0
Chapter 2. Internal and external technical development and present status	11
Chapter 3. Contents and result of study	2
Paragraph 1. Materials and method	2
Paragraph 2. Result and Discussion	18
Paragraph 3. Conclusions	38
Chapter 4. Achievement goal and contribution to a relevant industry	4
Chapter 5. Application of the results	24
Chapter 6. Reference	34

List of figure

Fig. 1. Plane figure of the windowless swine fattening stall	2
Fig. 2. Front view of the windowless swine fattening stall	3
Fig. 3. Side view of the broiler house	3
Fig. 4. Inside of the broiler house	3
Fig. 5. Plane figure of swine finishing curtain stall	4
Fig. 6. Inside of the wet air cleaner in the curtain stall	4
Fig. 7. Outside view of the swine finishing curtain stall	4
Fig. 8. Plane figure of swine raising stall	5
Fig. 9. Outside view of the swine raising stall	5
Fig. 10. Grim Dust Monitor 1108	6
Fig. 11. Microdust	6
Fig. 12. Drager (Germany)	6
Fig. 13. Odor Sampler	7
Fig. 14. Odor Sampler in small size	7
Fig. 15. Olfactometer (TO7, ECOMA, Germany)	7
Fig. 16. Working principle of wet air cleaner	8
Fig. 17. View of wet air cleaner	9
Fig. 18. Front, side and overdraft of wet air cleaner	9
Fig. 19. Schematic arrangement of wet air cleaner	9
Fig. 20. Separate model of wet air cleaner	22

Fig. 21. Comparison of the TSP concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall	2
Fig. 22. Comparison of the PM_{10} concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall	2
Fig. 23. Comparison of the $PM_{2.5}$ concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall	2
Fig. 24. NH_3 concentration change in the windowless swine fattening stall by Off-mode(9. 5. 2006)	3 2
Fig. 25. NH_3 concentration change in the windowless swine fattening stall by Off-mode(9.7.2006)	3 2
Fig. 26. NH_3 concentration change in the windowless swine fattening stall by On-mode(9.18.2006)	4 2
Fig. 27. NH_3 concentration change in the windowless swine fattening stall by On-mode(9.20.2006)	4 2
Fig. 28. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall	3
Fig. 29. NH_3 concentration change in the broiler stall (2006.12.12,14)	27
Fig. 30. Comparison of the TSP concentration between On-mode and Off-mode in the broiler stall	3
Fig. 31. Comparison of the PM_{10} concentration between On-mode and Off-mode in the broiler stall	3
Fig. 32. Comparison of the $PM_{2.5}$ concentration between On-mode and Off-mode in the broiler stall	3
Fig. 33. Comparison of the PM_{10} concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall	3
Fig. 34. Comparison of the $PM_{2.5}$ concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall	3
Fig. 35. Comparison of the $PM_{1.0}$ concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall	3
Fig. 36. Comparison of the NH_3 concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall	3
Fig. 37. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall	3
Fig. 38. Comparison of the concentration PM_{10} between On-mode and Off-mode in the swine raising stall	3

Fig. 39. Comparison of the concentration $PM_{2.5}$ between On-mode and Off-mode in the swine raising stall	33
Fig. 40. Comparison of the concentration $PM_{1.0}$ between On-mode and Off-mode in the swine raising stall	37
Fig. 41. Comparison of the NH_3 concentration between On-mode and Off-mode On-mode and Off-mode in the swine raising stall	37
Fig. 42. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the swine raising stall	38

List of table

Table 1. Technical Level	1
Table 2. Internal and external research and present status	11
Table 3. Dust concentration of the windowless swine fattening stall	20
Table 4. Number of microorganism colonies(9. 26. 2006)	62
Table 5. Number of microorganism colonies(11. 16. 2006)	62
Table 6. Odor unit in the broiler stall.	29
Table 7. Number of microorganism colonies in broiler stall(12. 29. 2006)	63
Table 8. Dust concentration of the swine finishing curtain stall	30
Table 9. Number of microorganism colonies in the swine raising stall	33
Table 10. Number of microorganism colonies by addition of wood vinegar(07.12.14)	43
Table 11. Number of microorganism colonies by addition of wood vinegar(07.12.19)	53
Table 12. Dust concentration of the swine raising stall	53

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	10
제 2 장 국내외 기술개발 현황	11
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	12
제 1 절 재료 및 방법	12
가. 무창비육돈사	12
나. 육계농장	13
다. 커튼식 비육돈사	13
라. 육성돈사	14
마. 측정방법	15
제 2 절 결과 및 고찰	18
가. 습식공기정화기의 개발	18
나. 무창비육돈사	20
1) 먼지제거 효율	20
2) 암모니아가스의 제거효율	21
3) 악취제거 효율	25
4) 비육돈사 순환수의 미생물군락조사	26
다. 육계사의 공기정화 효율	27
1) 암모니아가스의 제거 효율	27
2) 먼지제거 효율	27
3) 악취제거 효율	29
4) 미생물 군락수	29
라. 커튼식 비육돈사	30
1) 먼지제거 효율	30
2) 돈사 내 NH_3 의 농도 변화	32
3) 악취제거 효율	33
4) 미생물 군락수	33
마. 육성돈사	35
1) 먼지제거 효율	35
2) 돈사 내 NH_3 의 농도 변화	37

3) 악취제거 효율	3
제 3 절 적요	3
가. 무창비육돈사	3
나. 육계농장	3
다. 커튼식 비육돈사	3
라. 육성돈사	4
마. 사용상 유의사항	4
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	4
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	4
제 6 장 참고문헌	4

제 1 장 연구개발과제의 개요

축사에서 발생하는 먼지는 사료, 돈사바닥, 돼지의 피부, 돈사자재 등에서 발생하며 생물적인 근원에서 발생하는 먼지를 바이오에로졸이라고 한다. 바이오에로졸은 생물체에 진염성이 커서 독성으로 작용하거나 알레르기적 반응을 일으킨다. 암모니아가스는 슬러리와 분변의 표면에서 발생하여 돈사내의 공기를 오염시킴으로써 가축과 작업자의 건강을 해치게 된다. 바이오에로졸은 직업병(농부 폐)을 일으키기도 하며 암모니아는 가축의 폐렴과 성장지연을 유발한다. 이에 축사에서 발생하는 암모니아가스, 먼지 등을 제거하고 가축의 생산성을 향상시키기 위하여 축사 내 공기를 정화시켜 깨끗한 공기를 가축에게 제공해줄 목적으로 습식 공기정화기를 개발하여 가축에게 최적의 환경을 제공하고 생산성을 높인다.

습식공기정화기의 설계제작과 축산현장에 적용하여 암모니아와 악취감소효과, 먼지 제거 효과, 오존의 순환수 살균효과 등을 분석하고 가축의 생산성 향상을 조사하여 경제성을 분석하였다.

습식공기 정화기는 실내 부유하는 먼지 입자를 빨아들이는 흡입장치를 가지고 있다. 흡입장치로 유입된 먼지 입자가 오존발생장치에서 오존수를 생성하여 다층 원심회전체를 통하여 미세 물 필터층을 통과하는 과정에서 물 입자와 충돌하면서 먼지를 1차적으로 제거하며, 각종 세균이 오존과 만나 살균되면서 함께 여과장치로 배출된다. 여과장치는 먼지와 물을 분리하는 거름망 구조로서 거름망을 통과한 물은 수조와 연결되어 다시 오존발생장치로 순환되도록 제어하는 제어장치와 이러한 과정을 통하여 정화된 공기를 배출하는 배출장치로 구성되었다

냄새의 주성분을 이루는 것이 암모니아이며 암모니아의 물에 잘 녹는 성질을 이용하여 순환수로서 회수하게 되는데, 축사내 지정된 장소에서 암모니아의 감소효과를 연속측정방법(Draeger)으로 수행하였다. 축사내의 공기중에 함유되어 있는 먼지감소 효과를 사용전과 후에 분진계를 이용하여 측정한다. 악취는 다분히 주관적이며 이것을 객관화하기 위하여 국제적으로 공인된 방법으로 냄새의 세기, 강도, 쾌불쾌 등을 악취관능시험기(Olfactometer, ECOMA)를 이용하여 축사내의 공기를 채집하고 분석하여 수치화 하였다. 습한 곳은 미생물이 번식하기에 좋은 조건을 마련한다. 본 기술에서 순환수가 여기에 해당되기 때문에 오존으로 살균을 하게 되는데, 그 효과를 미생물학적인 방법으로 샘플을 배양하여 미생물 군락의 감소로써 분석하였다. 가축의 증체량, 질병감소, 폐사율 등을 기준으로 하여 비육효과와 육성효과를 조사하며 경제성을 분석하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

기존의 산업용처럼 고비용의 필터를 교체하지 않는 기술적인 특성을 지니고 있으며, 또한 흡입된 실내공기가 미세한 물 필터를 통과하여 신선한 공기를 실내에 공급하여 실내 환경을 개선하고, 특히 겨울철에는 난방으로 인한 건조한 실내에 적절한 습도를 유지할 수 있다는 장점이 있다. 본 제품이 축산 농가에 공급되면 친환경 축산으로 인한 인근 생활주택으로부터 민원 발생 소지를 줄일 수 있고, 폐사율과 각종 질병의 원인이 되는 유해가스 발생을 억제하여 보다 좋은 고품질의 닭고기, 돼지고기를 생산하여 수입대체 및 수출을 증대할 수 있는 획기적인 축산환경 개선 기술이라 할 수 있다.

Table 1. Technical Level

구분	개발목표 기계	국내유사산업기계	선진국유사산업기계
구조	공기정화기(습식) 집진기	집진시설 및 장치 (건식)	집진시설 및 장치 (건식)
성능	돈사, 계사 등의 먼지, 악취, 살균기능	중대형으로 산업용, 지하철, 공장등에 사용	중대형으로 산업용, 지하철, 공장등에 사용
방식	미세 물필터 및 오존, 살균방식	건식집진필터 혹은 대형집진방식	건식집진필터 혹은 대형 집진방식
안정성	안전	안전	안전
장단점	필터교환필요 없고 유지비가 저렴함	건식필터를 교환하거나 대형의 경우 유지비과다	건식필터를 교환하거나
국산화율	100%	85%	0

Table 2. Internal and external research and present status

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
축산연구소	건식 먼지제거기	육계사 시험 기술개발 단계
일리노이대학	공기역학적 먼지제거기 공기 중 먼지 약 50%를 감소	적용시험 단계
NCSU, 일리노이대학	돈사에서 악취감소를 위한 공기 오존처리	일부 악취 화합물을 감소
미네소타대학	비열 플라즈마의 악취저감 실험	시험연구 중

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 재료 및 방법

가. 무창비육돈사

본 시험은 충주시 살미면에 소재한 비육돈 700두 규모의 무창돈사에서 여름철에 시행되었다. 돈사는 부분 틈바닥으로 슬러리 시스템을 가지고 있으며 본 시험을 실행한 여름철에는 직경 138cm의 대형송풍기(1.5kW, 유로팬) 4대를 추가로 가동하고 있었다. 흡기구는 돈사 우측벽면 상단 처마 밑이며 평균 입기풍속은 0.18m/s 이었다. 배기구는 지면으로부터 160cm 높이에 직경 50cm의 원통형 배기팬 (0.46kW) 7대가 좌측에 천정을 향하여 위치하고 있었으며 평균 배기풍속은 5.63m/s 이었다. 또한 측벽에도 배기팬 4대가 설치되어 크로스 환기시스템을 하고 있었다. 입구와 출구문은 활짝 열어놓아 환기량을 높이고자 하였다. Fig. 1에 도시된 바와 같이 돈사 내부에는 습식공기정화기 2대가 설치되었으며 공기정화기의 가동유무에 따라 2006년 9월 4일부터 6일까지는 Off-mode, 2006년 9월 18일부터 20일까지는 On-mode로 나누어 실험을 수행하였다.

On-mode의 경우에는 시험시행 10일 전부터 습식공기정화기를 가동시켜 돈사 내부 조건이 최적의 상태를 유지하도록 하였다.

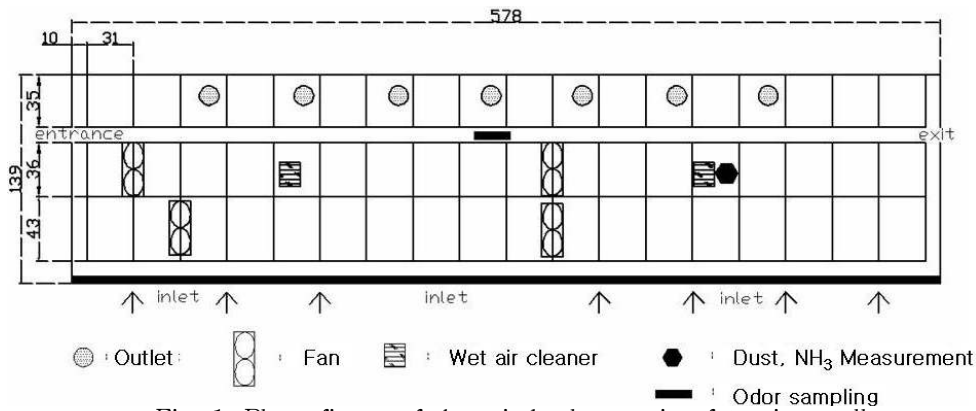


Fig. 1. Plane figure of the windowless swine fattening stall



Fig. 2. Front view of the windowless swine fattening stall

나. 육계농장

가축의 사양성적을 얻기 위하여 육계사 2동을 택하여 230평의 한 동에는 습식공기정화기 2대를 설치하였다. 옆동에는 대조구로서 계사의 기후환경관련 자료만 측정하였다.



Fig. 3. Side view of the broiler house



Fig. 4. Inside of the broiler house

다. 커튼식 비육돈사

시험장소는 충북 제천시 봉양읍 장평1리에 소재한 약 220평인 비육돈사에서 700두 정도를 사육하는 돈사이다. 사료급여는 원형급여기를 이용하고 있으며, 완전 틸 바닥으로 돈분뇨를 슬러리로 처리한다. 환기는 원치커튼방식으로 돈사 양측면 처마

밑에서 공기가 들어오며 천정에 있는 용마루로 배출되도록 되어있다.

환기량은 윈치커튼의 높이를 조절함으로써 이루어진다. 여름철 환기량을 높이기 위하여 추가적으로 지면으로부터 160cm 높이에 지름 50cm의 원통형 배기팬 7기가 일정한 간격으로 돈사 좌측벽면에 설치되어 있다.

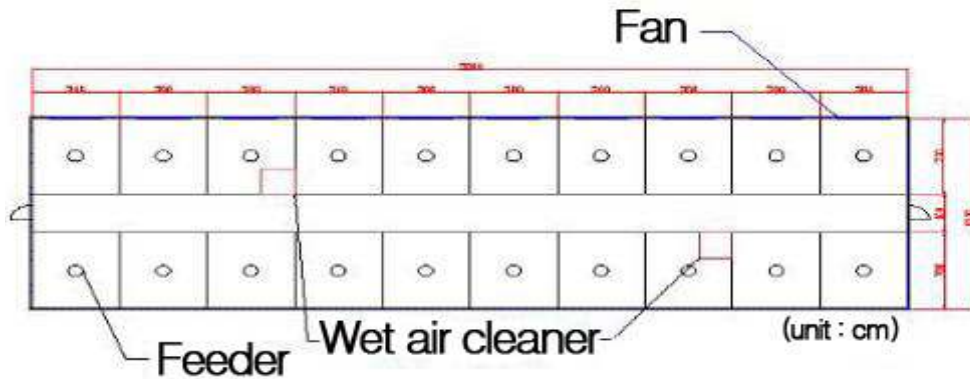


Fig. 5. Plane figure of swine finishing curtain stall



Fig. 6. Inside of the wet air cleaner in the curtain stall



Fig. 7. Outside view of the swine finishing curtain stall

습식 공기정화기를 가동하지 않았을 경우를 대조구로 가동하였을 경우를 시험구로 하였으며, 그 사이에 일주일의 완충기간을 두었다.

라. 육성돈사

실험장소는 충북 제천시 봉양읍 연박리에 소재한 약 120평인 돈사로 15kg짜리 돼지를 60kg까지 증체시켜 비육돈사로 보내게 되며, 항시 사육두수는 약 650두이다. 돈사내부는 무창돈사로서 환기는 크로스플로우 환기방식으로 흡기구는 처마 밑

에서 1.5m 간격으로 배열되어 있는 배관으로 유입되어 돈사 안 거의 중앙까지 유입된다. 여름철 환기량을 증가시키기 위한 지름 100cm의 유로팬 3기가 돈사 중앙에 위치하고 있다. 배기는 천정에 4개의 수직배관에 설치 되어있는 팬으로 하여 배출된다. 돈사는 무창돈사이며 바닥은 완전 틈바닥시스템으로 되어있고 피트 배기도 겸하고 있다.

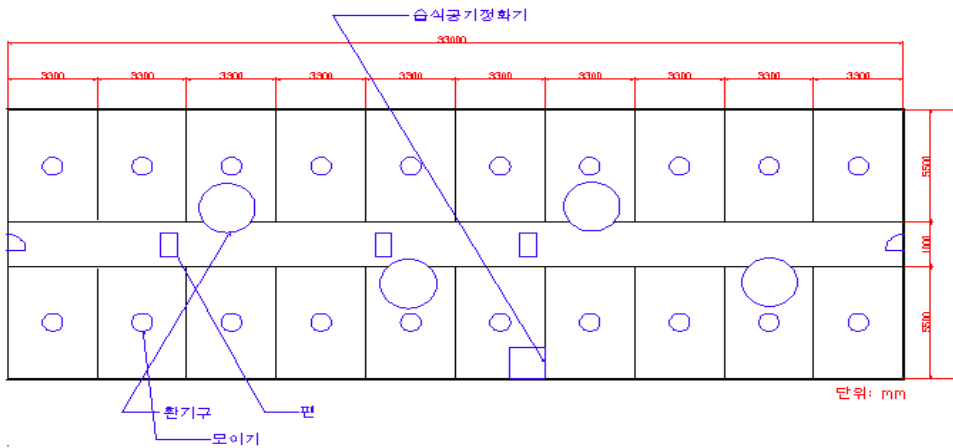


Fig. 8. Plane figure of swine raising stall



Fig. 9. Outside view of the swine raising stall

마. 측정방법 및 측정기기

본 실험에 사용된 분진계는 적외선 광선의 변화를 사용하는 광 산란 방식으로 깨끗한 공기의 조건하에서 모든 빛은 검출기에 도달하지 않게 되는데, 먼지입자가 포집장치에 들어가면 빛은 작은 각(12~20°)으로 산란되어 검출기로 들어간다. 이때

굴절률과 측정된 입자의 색변화를 감지하여 분진농도를 측정한다.

분진농도의 측정은 돈사 내 중앙부에 분진계(MicroDust Pro, CASELLA, England)를 설치하여 오전 6시를 시작으로 10분 간격으로 데이터를 저장하여 총 72시간 동안 입자크기별 먼지농도를 측정하였다.

돈사내 먼지 측정은 4개의 범위(0-2.5, 0-25, 0-250, 0-2500)를 통하여 0.001-2,500mg/m³까지 측정하며 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}로 나타나게 된다. 여기서 TSP(Total Suspended Particle)는 공기 중에 떠다니는 직경 0.001 μ m에 이르는 모든 입자상물질, PM₁₀(particulate matter 10)은 입자의 직경이 10 μ m 이하인 먼지, PM_{2.5}(particulate matter 2.5)는 입자의 직경이 2.5 μ m 이하인 먼지를 말한다.



Fig. 10. Grim Dust Monitor 1108



Fig. 11. Microdust

커튼식 비육돈사 및 육성돈사에서 측정방법 및 측정기기는 Grim Dust Monitor이며, 총먼지량인 TSP를 측정하지 않고 미세 먼지인 PM_{1.0}을 추가로 측정하는 방식으로 전환 하였다.

NH₃는 가스검지기(x-am7000, Drager, Germany)를 이용하여 측정하였으며 분진측정과 동일한 지점에서 이루어졌다. 자료입력은 10분 간격으로 오전 6시부터 다음날 6시까지 저장되도록 하였으며 24시간 동안의 암모니아가스 농도의 변화를 분석하였다.



Fig. 12. Drager (Germany)

악취는 돈사 내부의 정 중앙에서 진공 시료포집장치(EP. 137, ECOMA, Germany)를 이용하였으며, 공기회석관능측정기(TO7 ECOMA, Germany)를 이용하였다. 이 기기는 사람들에게 느껴지는 악취의 정도를 객관화 하는 장치로서 4명의 패널을 선정하여서 실험에 참여하도록 하였다. 돈사에서 채취한 샘플공기와 신선한 공기를 일정한 회석비율, 예를 들면 회석배수 640에서 시작하여 매번 1/2로 감소하여 2.5배까지로 낮추어가는 과정을 자동으로 하여 혼합공기를 제공하여주는 방식이다. 4명의 패널이 응답하는 수치를 분석하여 악취의 정도를 수치화 시켜준다.



Fig. 13. Odor sampler



Fig. 14. Odor Sampler in small size



Fig. 15. Olfactometer (TO7, ECOMA, Germany)

미생물 균락 조사는 농장에서 30분 간격으로 순환수에서 샘플을 채취하여 일정한 희석배수로 인큐베이터에서 배양한 후 미생물의 균락을 조사하였다.

제 2 절 결과 및 결론

가. 습식공기정화기의 개발

습식공기정화기는 밀폐된 공간에서 사육하는 가축의 배설물에서 발생하는 각종 가스 및 사료 등에서 발생하여 실내에 부유하는 먼지 입자를 공기와 함께 빨아들이는 흡입장치를 가지고 있다. 흡입장치로 유입된 내부공기는 다층 원심회전체를 통하여 순환수와 함께 미세 물 필터층이 형성되고 물 입자와 충돌하면서 분무상태로 축사 내에 분무되며, 순환수는 먼지 거름망을 통과하면서 먼지를 1차적으로 제거한다. 각종 세균은 오존발생장치에서 오존수를 생성하여 오존에 의해 살균되면서 함께 여과장치로 배출된다. 오존 탈취작용은 둔사에서 악취물질을 산화시켜 알데히드(-CHO), 이산화탄소(CO_2) 등으로 분해시켜 독성과 악취가 없는 물질로 바꾸어 준다. 산화작용과 다른 잡취를 덮어버리는 마스킹 효과의 2가지로 볼 수 있는데 주요 산화작용을 이용하여 악취성분의 기(Radical)를 변화시키거나 분자구조를 파괴시킴으로써 악취가 제거된다. 오존발생장치의 작동원리는 오존 방전관에서 유입된 상태에서 인가전압 및 주파수를 제어하여 필요한 오존(O_3)을 0.03~0.3ppm의 농도로 발생시킨다. 이때 발생한 오존은 벤추리 인젝터에서 물과 혼합되어 살균위생수가 제조된다. 여과장치는 먼지와 물을 분리하는 거름망 구조로서 거름망을 통과한 물은 수조와 연결되어 다시 오존발생장치로 순환되도록 하는 제어장치가 있으며, 이러한 전 과정을 통하여 정화된 공기를 반복적으로 축사에 공급하게 된다.

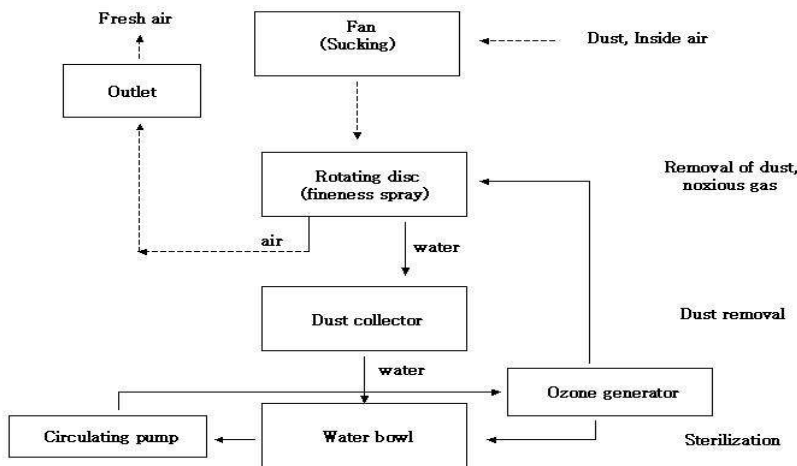


Fig. 16. Working principle of wet air cleaner



Fig. 17. View of wet air cleaner

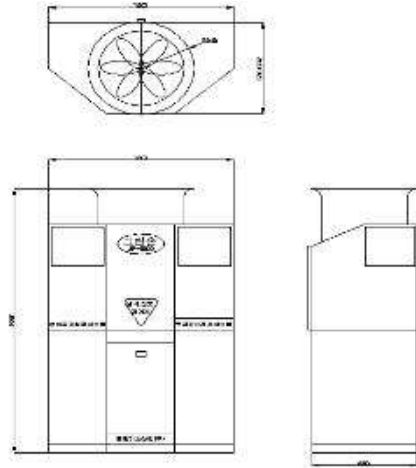


Fig. 18. Front, side and overdraft of wet air cleaner

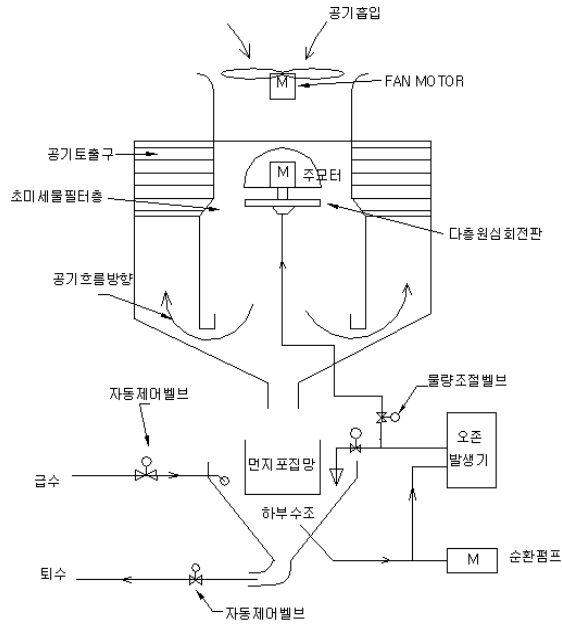


Fig. 19. Schematic arrangement of wet air cleaner

1차년도에서 사용한 결과에 의하면 축사안의 습도가 증가하는 경우가 발생하기 때문에 습도를 낮추기 위하여 자갈층과 그것을 청소할 부러시를 두었으며 공기흡입도 양압에서 음압 방식으로 바꾸어 성능을 향상 시켰다. 일체형 외에도 돈사의 입지조건에 따라서 습식공기정화기에서 배출되는 신선한 공기를 덕트와 연결시킬 필요가 있으므로 분리형 습식공기정화기도 개발하였다.



Fig. 20. Separate model of wet air cleaner

나. 무창비육돈사

1) 먼지제거 효율

TSP의 평균 농도는 On-mode에서 0.195 mg/m^3 , Off-mode에서는 0.227 mg/m^3 를 나타내어 약 0.032 mg/m^3 가 감소되었다. 최소농도와 최대농도의 범위는 On-mode에서 $0.128 \sim 0.259 \text{ mg/m}^3$ 이었고, Off-mode에서는 $0.139 \sim 0.308 \text{ mg/m}^3$ 을 나타내어 On-mode의 경우 먼지농도의 변화가 대체적으로 안정적임을 알 수 있었다(Table 3).

Table 3. Dust concentration of the windowless swine fattening stall

(Unit : mg/m^3)

Item	On-mode			Off-mode		
	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Max.	0.259	0.224	0.104	0.308	0.231	0.086
Min.	0.128	0.052	0.011	0.139	0.063	0.005
Avg.	0.195	0.143	0.059	0.227	0.135	0.056

돈사 내 TSP 농도변화는 Fig. 21에서 보는 바와 같다. On-mode, Off-mode에서 모두 오후 6시를 기점으로 먼지농도는 점차 증가하여 새벽시간에 가장 높은 먼지 농도를 보이다가 환기량이 증가되는 오전 6시 이후 점차 감소하여 오후 4시에서 6시 사이에 최소량을 보였다. 이와 같은 결과는 최 등(2005)이 보고한 분진의 농도는 환기량과 점등에 따라 많이 변한다고 한 내용과 비슷한 경향을 보였다.

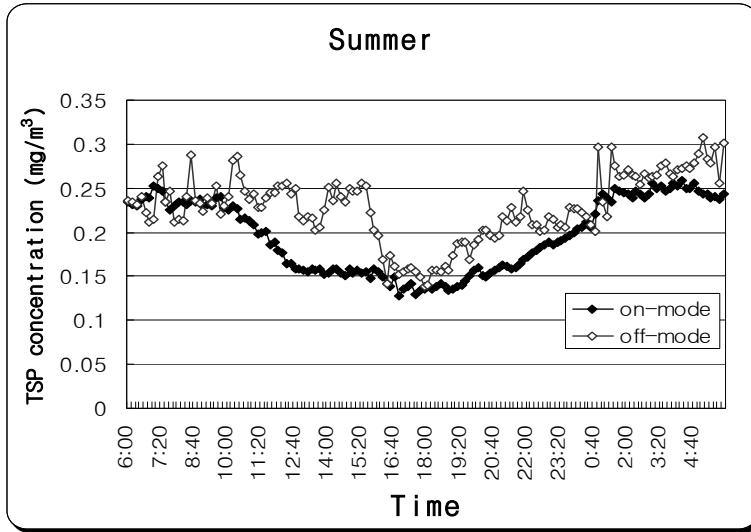


Fig 21. Comparison of the TSP concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall

돈사 내 PM_{10} 의 농도변화는 Fig. 22 와 같다. 시간대별로 TSP와 비슷한 농도변화를 나타내었으며 On-mode, Off-mode에서 모두 오후 6시를 기점으로 먼지농도는 점차 증가하여 새벽시간에 가장 높은 먼지농도를 보이다가 환기량이 증가되는 오전 6시 이후 점차 감소되는 변화를 나타내었다.

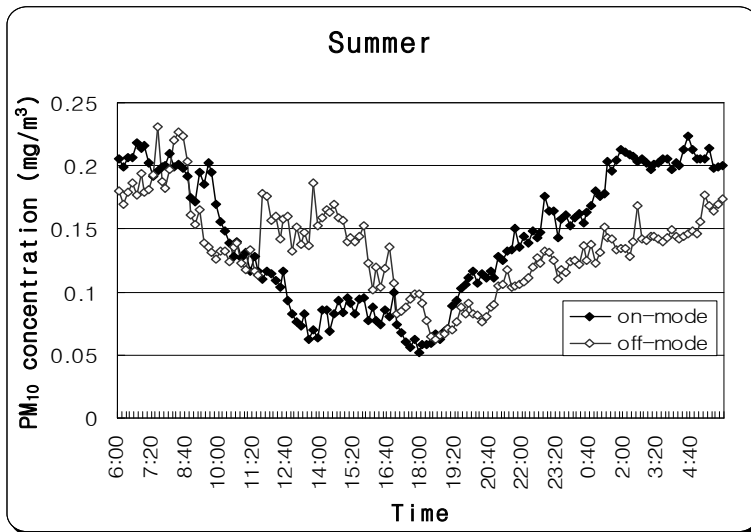


Fig. 22. Comparison of the PM_{10} concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall

PM_{10} 의 평균농도는 On-mode에서 $0.143 \text{ mg}/m^3$, Off-mode에서는 $0.135 \text{ mg}/m^3$ 으로 나타났다. 최소농도와 최대농도는 On-mode에서는 각기 $0.052 \text{ mg}/m^3$, $0.224 \text{ mg}/m^3$ 이었고, Off-mode에서는 $0.063 \text{ mg}/m^3$, $0.231 \text{ mg}/m^3$ 의 수치를 나타내었다(Table 3).

돈사 내 $PM_{2.5}$ 의 농도변화는 Fig. 23과 같다. 앞서 TSP, PM_{10} 과 비슷한 경향을 나타내어 오후 6시에 그 농도가 가장 적게 나타났다.

$PM_{2.5}$ 의 평균 농도는 On-mode에서 $0.059 \text{ mg}/m^3$, Off-mode에서 $0.056 \text{ mg}/m^3$ 으로 나타났다. 최소농도와 최대농도는 On-mode에서 $0.011 \text{ mg}/m^3$, $0.104 \text{ mg}/m^3$ 이었고, Off-mode에서 $0.005 \text{ mg}/m^3$, $0.086 \text{ mg}/m^3$ 의 수치를 나타내었다. 이 결과는 PM_{10} 에서와 같이 먼지입자 크기가 작아질수록 습식공기정화기의 먼지제거 효율에서 별 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있었다.

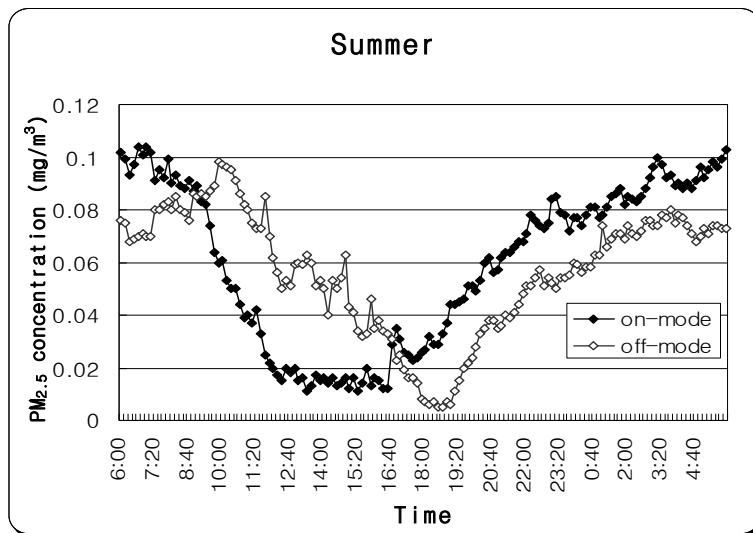


Fig. 23. Comparison of the $PM_{2.5}$ concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall

2) 암모니아가스 제거 효율

Fig. 24은 Off-mode에서 측정된 암모니아가스 농도의 변화량이다. 평균 농도는 7.72ppm을 보였으며 오후 4시경 12.6ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 새벽 6시경으로 5.9ppm을 나타내었다.

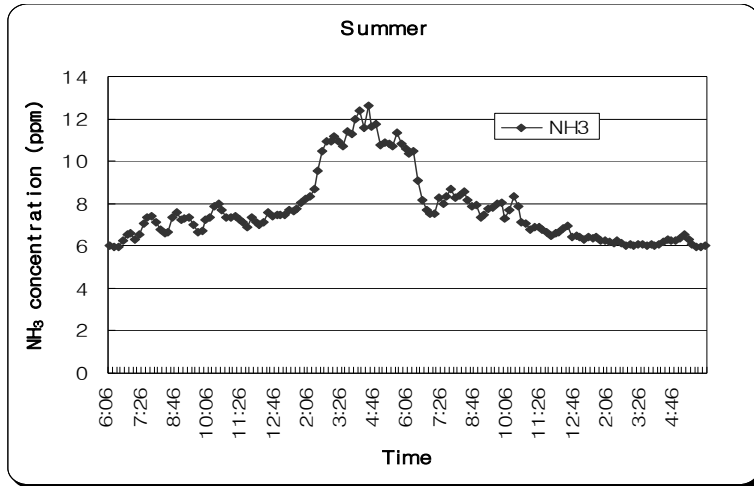


Fig. 24. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by Off-mode(2006.9.5)

Fig. 25은 Off-mode에서 측정된 암모니아가스 농도의 변화량이다. 평균 농도는 9.23ppm을 보였으며 오후 1시경 13.8ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 오전 10시경으로 7.3ppm을 나타내었다.

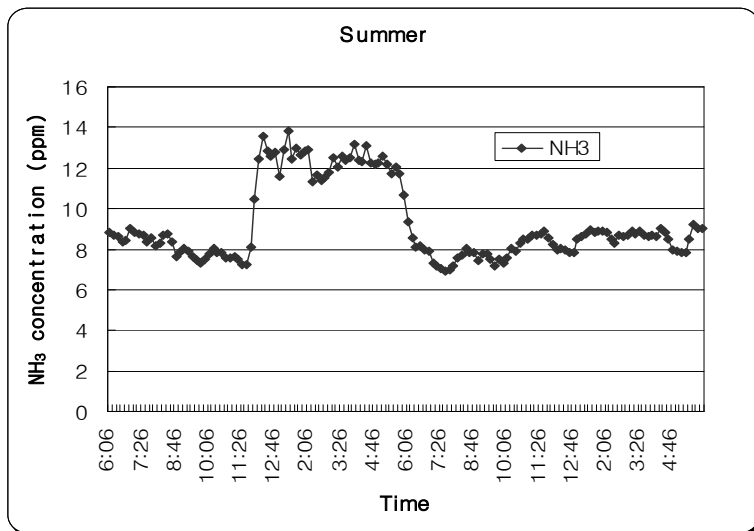


Fig. 25. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by Off-mode(2006.9.7)

Fig. 26은 On-mode에서 측정된 암모니아가스의 농도변화이다. 평균 농도는 7.30ppm을 보였으며 오후 3시경 9.9ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 새벽 1시경으로 5.5ppm을 나타내었다.

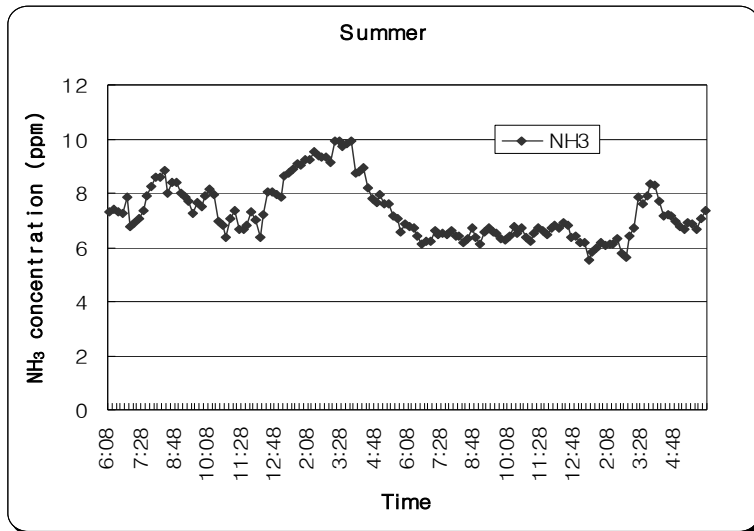


Fig. 26. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by On-mode(2006.9.18)

Fig. 27는 On-mode에서 측정된 암모니아가스의 농도변화이다. 평균 농도는 7.96ppm을 보였으며 오후 12시경 10.5ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 오후 10시경으로 6.2ppm을 나타내었다.

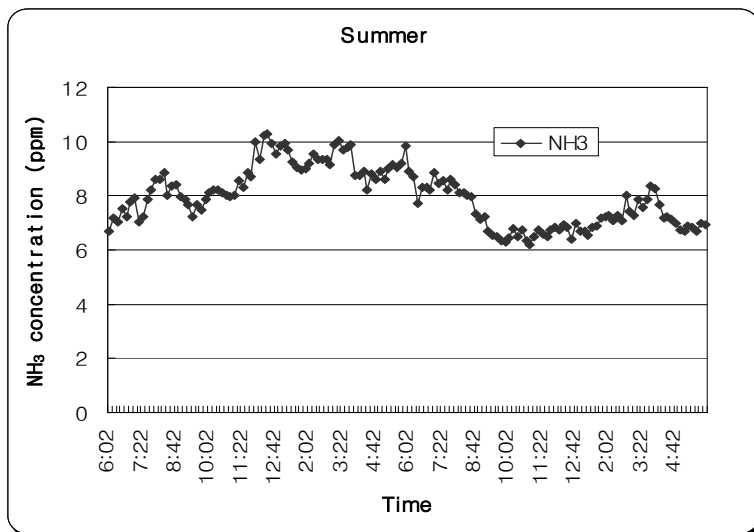


Fig. 27. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by On-mode(2006.9.20)

돈사 내부의 암모니아가스변화를 종합적으로 살펴보았을 때 On-mode에서는 최고 농도 10.5ppm, 최소농도 5.5ppm을 나타내었으며 평균농도는 7.6ppm으로 나타났다. Off-mode의 경우 최대농도 13.8ppm, 최소농도 5.9ppm을 나타내었으며 평균 농도는 8.5ppm을 나타내었다. 그리하여 공기정화기를 가동하였을 경우 암모니아 가스 제거효율은 전체를 평균하였을 때 약 10%를 나타내었다.

돈사 내의 암모니아가스 농도는 습식공기정화기의 사용 전·후 모두 MWPS(1991)가 권장하는 허용농도인 20ppm보다는 낮은 농도였다. On-mode의 경우 암모니아 가스의 농도가 낮아 Off-mode의 경우보다 안정된 변화를 나타내었다.

3) 악취제거 효율

Fig. 28은 돈사내부의 악취농도를 나타내었다. Off-mode의 경우 최대량 420 OU/m^3 , 최소량 300 OU/m^3 을 나타내어 평균수치는 367 OU/m^3 을 나타내었다. 반면 On-mode에서는 최대량 330 OU/m^3 , 최소량은 210 OU/m^3 을 나타내어 평균수치가 253 OU/m^3 을 나타내었다. 그리하여 공기정화기를 가동하였을 경우 악취 제거효율은 평균치를 비교하였을 때 약 31%를 나타내었다. OU는 냄새단위(Odor unit)를 의미한다.

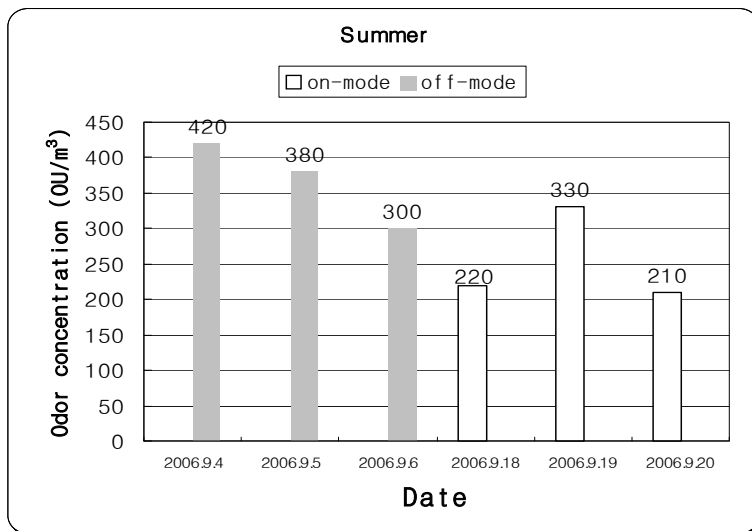


Fig. 28. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall

4) 비육돈사 순환수의 미생물균락조사

순환수의 미생물의 존재여부를 조사함으로써 오존의 살균효과를 알고자 미생물 시험을 수행하였다. 표 4는 순환수의 교체주기가 2시간 이었으며, 표 5는 순환수의 교체주기를 30분으로 한 결과이다. 교체주기를 짧게 하여줌으로서 전체적인 미생물 균락이 적어진 것을 알 수 있으나 오존의 살균효과는 찾아보기 힘들다. 따라서 오존의 농도를 높여야 할 것으로 사료된다.

Table 4. Number of microorganism colonies(2006년9월26일)

유입수	0.5*10 ⁸ CFU/ml	10시30분
정화기A-1	67*10 ⁶ CFU/ml	10시40분
정화기A-2	165*10 ⁶ CFU/ml	11시10분
정화기A-3	109*10 ⁶ CFU/ml	11시40분
정화기A-3	69*10 ⁶ CFU/ml	12시10분
정화기B-1	80*10 ⁶ CFU/ml	10시40분
정화기B-2	189*10 ⁶ CFU/ml	11시10분
정화기B-3	149*10 ⁶ CFU/ml	11시40분
정화기B-4	92*10 ⁶ CFU/ml	12시10분

*2시간간격 으로 순환수가 교체되기 때문에 30분 간격으로 4번 샘플링하였음

Table 5. Number of microorganism colonies(2006년11월16일)

유입수	2*10 ⁴ CFU/ml	12시10분
정화기 A-5	15*10 ⁶ CFU/ml	12시20분
정화기 A-10	13*10 ⁶ CFU/ml	12시25분
정화기 A-15	14.5*10 ⁶ CFU/ml	12시30분
정화기 A-20	12*10 ⁶ CFU/ml	12시35분
정화기 A-25	14.5*10 ⁶ CFU/ml	12시40분
정화기 A-30	13.5*10 ⁶ CFU/ml	12시45분
정화기 B-5	18*10 ⁶ CFU/ml	12시20분
정화기 B-10	19*10 ⁶ CFU/ml	12시25분
정화기 B-15	18.5*10 ⁶ CFU/ml	12시30분
정화기 B-20	19.5*10 ⁶ CFU/ml	12시35분
정화기 B-25	21*10 ⁶ CFU/ml	12시40분
정화기 B-30	22*10 ⁶ CFU/ml	12시45분

*5분간격으로 6번 샘플링을 하였음

다. 육계사의 공기정화 효율

가축의 사양성적을 얻기 위하여 육계사 2동을 택하여 230평의 한 동에는 습식공기정화기 2대를 설치하였다. 옆동에는 대조구로서 계사의 기후환경관련 자료만 측정하였다.

1) 암모니아가스제거 효율

암모니아가스는 시험구가 평균 35ppm, 대조구가 약 30ppm으로 오히려 시험구에서 높게 나타났다. 그 이유는 시험구가 대체적으로 습도가 높았으며 이로 인하여 암모니아 가스도 포화된 양이 많게 된 것으로 사료된다.

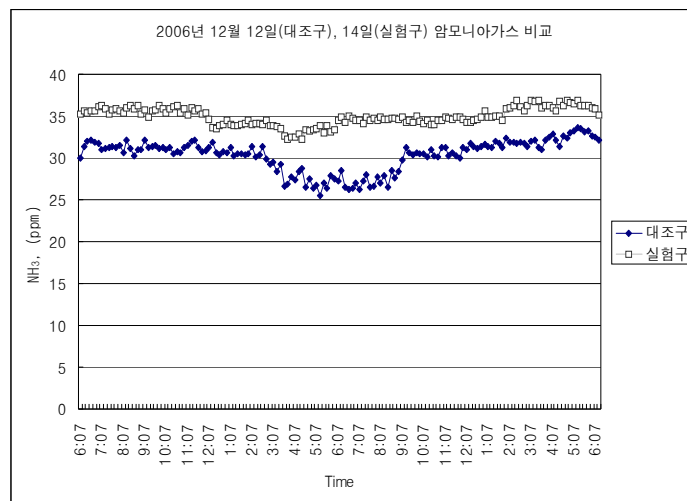


Fig. 29. NH₃ concentration change in the broiler stall (2006.12.12,14)

2) 먼지제거 효율

그림 30, 31, 32에는 먼지를 입경별로 서로 비교하였다. 대조구에서 총먼지는 양도 많으며 변동도 심함을 알 수 있으며 상대적으로 시험구에서는 먼지양도 적고 안정적임을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 PM₁₀에서도 볼 수 있다. 대조구에서 평균 0.8mg/m³였으며 시험구에서는 평균 0.6mg/m³로서 약 25%의 감소효과를 나타내었다. 그러나 PM_{2.5}에서는 부분적으로 시험구에서 높게 나타나기도 하였다.

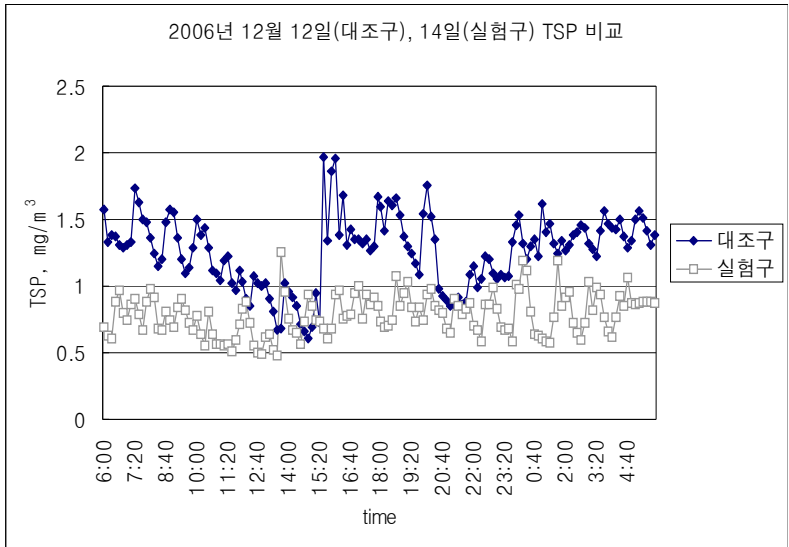


Fig. 30. Comparison of the TSP concentration between On-mode and Off-mode in the broiler stall

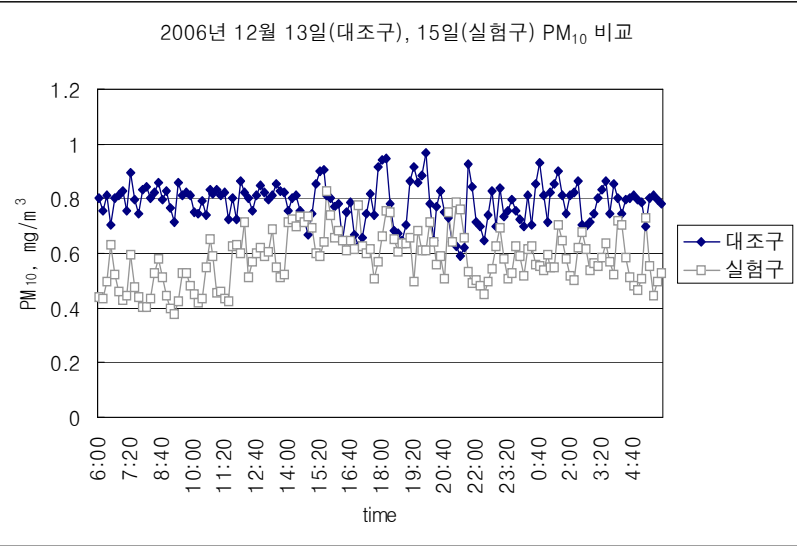


Fig. 31. Comparison of the PM_{10} concentration between On-mode and Off-mode in the broiler stall

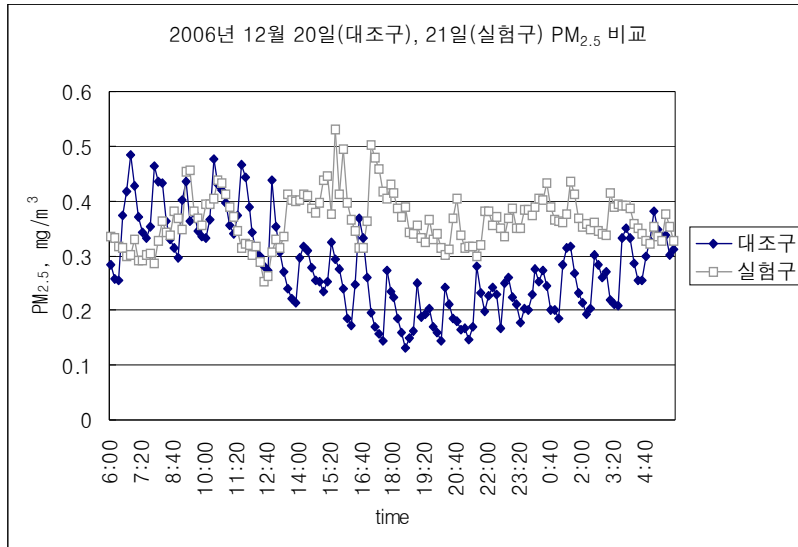


Fig. 32. Comparison of the $PM_{2.5}$ concentration between On-mode and Off-mode in the broiler stall

3) 악취제거 효율

공기희석관능 측정방법으로 냄새를 측정한 결과는 표 6에 나타내었다. 대체적으로 시험구에서 냄새단위가 대조구 보다 높게 나타났는데 이는 습도가 높았으며 암모니아가스도 많았던데에서 그 이유를 찾을 수 있을 것 같다. 따라서 습식공기정화기의 용량을 조절해 줄 수 있는 기능이 필요하다.

Table 6 . Odor unit in the broiler stall.

	시험구	대조구
12월20일	890 OU/m ³	630 OU/m ³
12월21일	1400 OU/m ³	1400 OU/m ³
12월22일	1100 OU/m ³	940 OU/m ³

4) 미생물 균락수

습식공기정화기의 오존살균 효과를 알아보고자 순환수에서의 미생물수를 측정하였다.

순환수가 순환 하였을때 습식공기 정화기 A-4 번째에서 콜로니수가 감소한 것을 알 수 있으며 또한 B-3에서 콜로니의 수가 줄어든 것을 알 수 있다. 이는 오존살균장치가 효과가 있다는 것을 보여주나 크지는 않으며 현상유지 수준이다.

Table 7. Number of microorganism colonies in broiler stall(2006년12월29일)

유입수	5*10 ² CFU/ml	11시 10분
정화기A-1	8*10 ⁰ CFU/ml	11시20분
정화기A-2	6*10 ⁰ CFU/ml	11시35분
정화기A-3	4*10 ⁰ CFU/ml	11시50분
정화기A-4	2.5*10 ⁰ CFU/ml	12시5분
정화기A-5	5.5*10 ⁰ CFU/ml	12시20분
정화기B-1	7*10 ⁰ CFU/ml	11시20분
정화기B-2	8*10 ⁰ CFU/ml	11시35분
정화기B-3	3*10 ⁰ CFU/ml	11시50분
정화기B-4	4*10 ⁰ CFU/ml	12시5분
정화기B-5	5*10 ⁰ CFU/ml	12시20분

*15분간격으로 5번 샘플링함

라. 커튼식 비육돈사

1) 먼지제거 효율

시험기간 중 측정된 돈사내 부유먼지의 입도별 농도는 표 8에 나타내었으며, 표에서 보는 바와 같이 습식공기정화기의 효과를 알 수 있다. 먼지는 PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ 으로 구분하여 측정하였다.

Table 8. Dust concentration of the swine finishing stall

(Unit : mg/m³)

Item	Test			Control		
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{1.0}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{1.0}$
Max.	0.23	0.14	0.06	0.20	0.16	0.09
Min.	0.06	0.02	0.01	0.06	0.03	0.02
Avg.	0.11	0.03	0.01	0.12	0.06	0.05

돈사내 먼지 PM_{10} 의 최대·소, 평균먼지농도는 표 8에서 보는 바와 같이 평균 PM_{10} 농도는 시험구가 대조구보다 약 $0.01mg/m^3$ 감소된 것을 알 수 있다. 최대값과 최소값은 같거나 시험구가 더 높은 수치를 보이기도하나 평균치에서 시험구가 약간 낮았다. 그림 31에서 보면 초기를 제외하고는 일반적으로 시험구가 대조구보다 약간 낮게 나타나고 있으며, 전반적으로 약 8%의 감소효과가 나타났다.

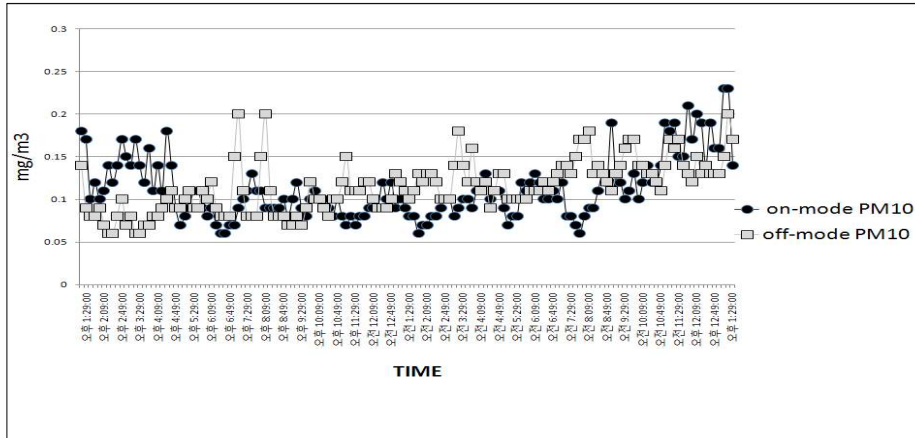


Fig. 33. Comparison of the PM_{10} concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall

돈사 내 먼지 $PM_{2.5}$ 의 최대·소 평균먼지농도는 표 8에서 보는 바와 같다. 평균 $PM_{2.5}$ 농도는 시험구가 대조구보다 평균치가 약 $0.03mg/m^3$ 감소된 것을 알 수 있다. 최대값, 최소값은 공히 시험구가 더 낮은 수치를 보이며 평균 수치는 절반 수준으로 떨어졌다. 먼지제거 효과는 뚜렷하여서 약 50%의 먼지제거 효과가 나타났으며 습식공기정화기는 미세 먼지에서 더 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 그림 34에서 보듯 PM_{10} 에 비하여 수치 자체도 안정되어 있다.

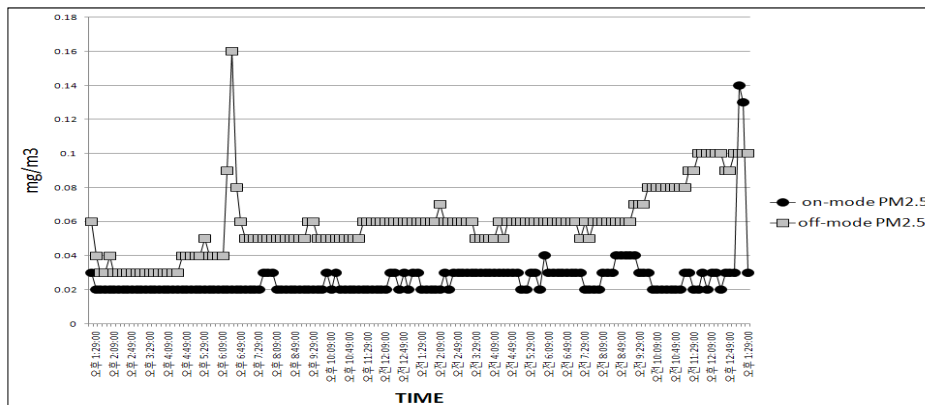


Fig. 34. Comparison of the $PM_{2.5}$ concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall

Off-mode in the swine finishing curtain stall
 돈사 내 먼지 $PM_{1.0}$ 의 최대소, 평균먼지농도는 표 8에서 보는바와 같다. 평균 $PM_{1.0}$ 농도는 시험구가 $0.01mg/m^3$ 에서 대조구 $0.05mg/m^3$ 보다 약 80%가 감소된 것을 알 수 있다. $PM_{1.0}$ 과 $PM_{2.5}$ 의 차이에서도 알 수 있었던 바와 같이 먼지입자가 작아질수록 습식공기정화기의 먼지제거 효율도 높아지며, 또한 $PM_{2.5}$ 보다 더 안정된 수치를 보여주고 있다. 이는 습식공기정화기가 미세 먼지일수록 더 큰 효과를 나타낸다는 것을 의미한다.

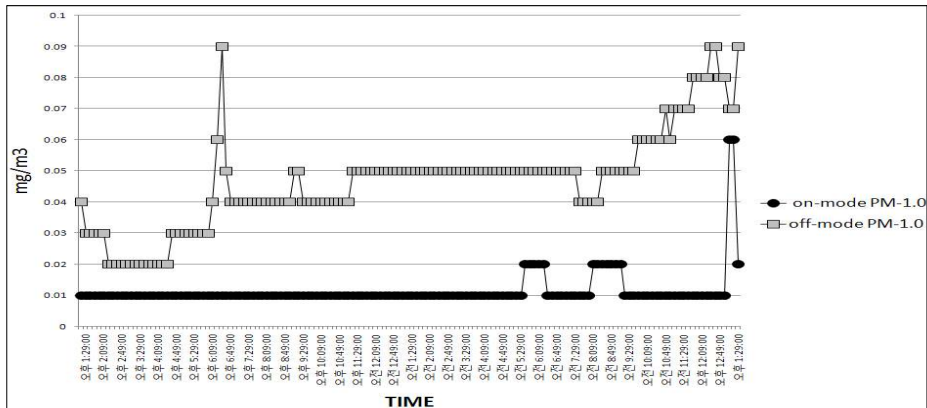


Fig. 35. Comparison of the $PM_{1.0}$ concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall

2) 돈사 내 NH_3 의 농도 변화

돈사 내의 NH_3 의 수치는 시간이 경과함에 따라 약간씩 변하며 최대한 대표성 있는 측정을 하기 위하여 돈사 중앙에서 약간 후방으로 측정장치를 설치하여 정확한 돈사 평균값을 구할 수 있도록 하였다.

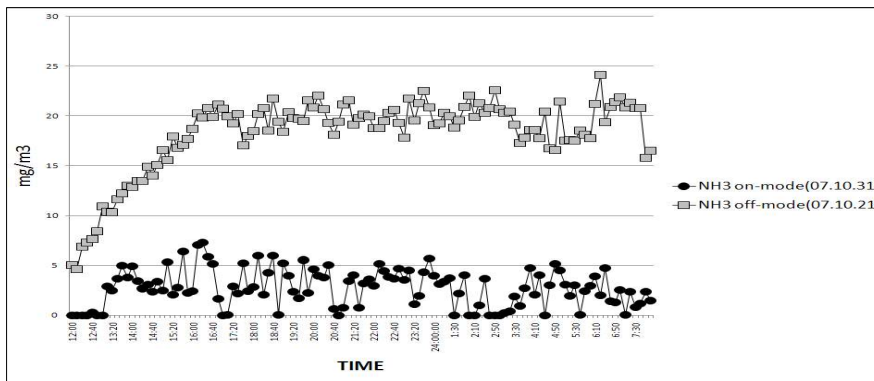


Fig. 36. Comparison of the NH_3 concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing curtain stall

그림 36에서 시험구와 대조구의 평균 NH_3 수치는 시험구가 2.7ppm, 대조구가 18.2ppm으로 약 74%의 감소되었다. 일반적으로 돈사에서는 암모니아가스 농도 20ppm 이하를 권장하고 있으며, 대조구에서는 20ppm을 상회하기도 하나 시험구에서는 대부분의 경우에 5ppm 이하로 양호한 결과를 보여주고 있다.

3) 악취제거 효율

기계를 작동시키지 않았을 경우와 가동시켰을 경우에 악취의 변화를 알아보았다.

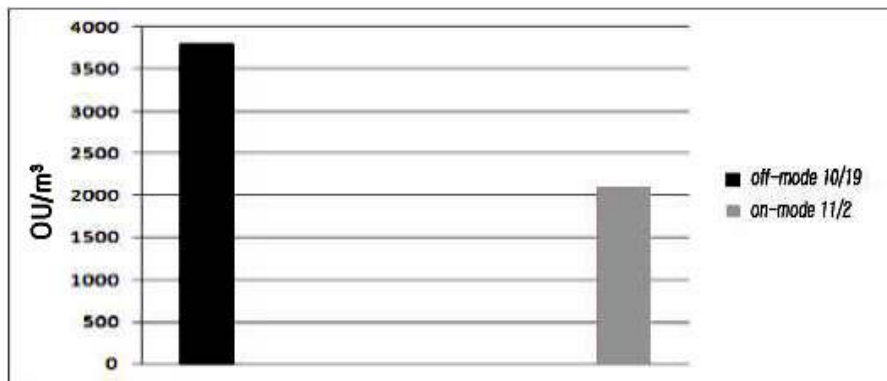


Fig. 37. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing stall

4명의 패널리스트의 평균 측정값을 분석한 결과 시험구의 경우 2,100 OU/m^3 였으며, 대조구의 경우는 3,800 OU/m^3 으로 측정되었다. 이 결과로 습식공기정화기를 가동하였을 경우 악취는 약 45%의 감소 효과를 볼 수 있다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 동절기로 갈수록 열수지를 맞추어 주기위하여 환기량을 줄이기 때문에 돈사 기후환경이 나빠지는데, 습식공기정화기는 이와 같이 악화되는 돈사 기후를 개선하는데 효과가 있는 것으로 판단된다.

4) 미생물 균락수

습식공기 정화기의 오존살균장치의 효과를 알아보고자 순환수에서의 미생물 콜로니 수를 조사한 결과는 표 9과 같다.

Table 9. Number of microorganism colonies in the swine raising stall

	희석배수	a	b	평균	CFU
유입수	10^{-5}	212	192	202	202×10^6
	10^{-6}	181	158	170	170×10^7
A-1	10^{-5}	162	190	176	176×10^6
	10^{-6}	198	213	206	206×10^7
A-2	10^{-5}	195	158	177	177×10^6
	10^{-6}	17	17	17	17×10^7
A-3	10^{-5}	210	225	213	213×10^6
	10^{-6}	176	168	172	172×10^7
A-4	10^{-5}	237	210	224	224×10^6
	10^{-6}	164	234	199	199×10^7

습식공기정화기의 순환수에서 미생물이 다량 검출되어서 살균력이 강하며 인체에 무해한 목초액을 순환수에 일정량씩 주입되도록 하여 순환수에서 미생물의 증가여부를 확인하여 보았다. Table 10, 11에서 볼 수 있듯 순환수에서 미생물의 수가 확연히 줄어든 것을 볼 수 있다. 습식공기정화기의 특성을 고려하여 볼 때 여름철에 순환수에 목초액을 사용하면 축사의 환경에 많은 개선이 있을 것이라는 판단이 된다.

Table 10. Number of microorganism colonies by addition of wood vinegar(07.12.14)

	희석배수	a	b	평균	CFU
유입수	10^{-5}	3	0	1.5	1.5×10^5
	10^{-6}	0	0	0	0
A-1	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
A-2	10^{-5}	1	0	0.5	0.5×10^5
	10^{-6}	0	0	0	0
A-3	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
A-4	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
B-1	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
B-2	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	1	0	0.5	0.5×10^6
B-3	10^{-5}	1	0	0.5	0.5×10^5
	10^{-6}	0	0	0	0
B-4	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0

*10분단위로 채취

Table 11. Number of microorganism colonies by addition of wood vinegar(07.12.19)

	희석배수	a	b	평균	CFU
유입수	10^{-5}	2	0	1	$1*10^5$
	10^{-6}	0	0	0	0
A-1	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
A-2	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
A-3	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
A-4	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
B-1	10^{-5}	3	0	1.5	$1.5*10^5$
	10^{-6}	0	0	0	0
B-2	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
B-3	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0
B-4	10^{-5}	0	0	0	0
	10^{-6}	0	0	0	0

*10분단위로 채취

07년 12월 19일

마. 무창육성돈사

1) 먼지제거 효율

본 실험에서 측정된 돈사내 부유먼지의 입도별 농도는 다음과 같다.

Table 12. Dust concentration of the swine raising stall

(Unit : mg/m^3)

Item	시험구			대조구		
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{1.0}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	$PM_{1.0}$
Max.	0.33	0.30	0.22	0.62	0.59	0.48
Min.	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02
Avg.	0.03	0.03	0.02	0.06	0.06	0.05

먼지는 PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$ 으로 구분하여 측정하였다.

돈사내 먼지 PM_{10} 의 최대·소, 평균먼지농도는 표 12에서 보는바와 같다. 평균 PM_{10} 농도는 시험구가 대조구보다 약 $0.03mg/m^3$ 즉 약 50%가 감소된 것을 알 수 있다. 비육돈사와는 다르게 먼지의 양이 확연히 낮은 수치를 볼 수 있으며 또한 더 안정된 수치를 얻을 수 있었다.

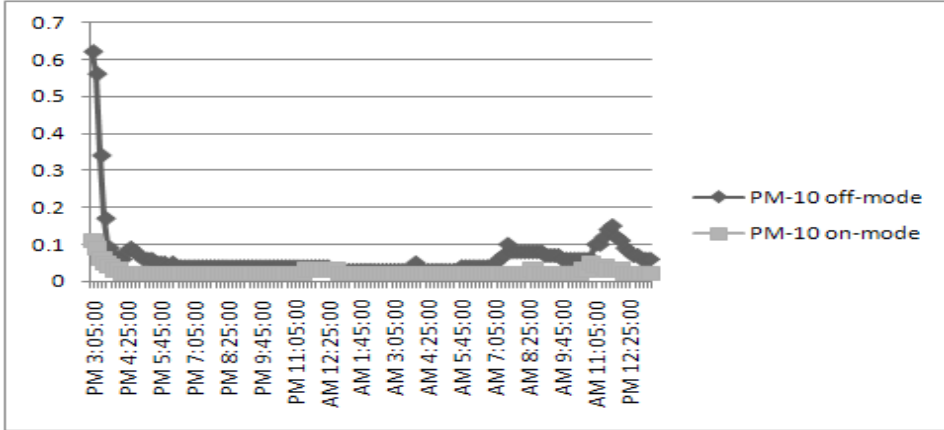


Fig. 38. Comparison of the concentration PM_{10} between On-mode and Off-mode in the swine raising stall

돈사내 먼지 $PM_{2.5}$ 의 최대·소, 평균먼지농도는 표 12에서 보는바와 같다. 평균 $PM_{2.5}$ 농도는 시험구가 대조구보다 약 $0.03mg/m^3$ 약 50%가 감소된 것을 알 수 있다. 비육돈사와 마찬가지로 PM_{10} 에 비하여 더 안정된 수치가 나타난다.

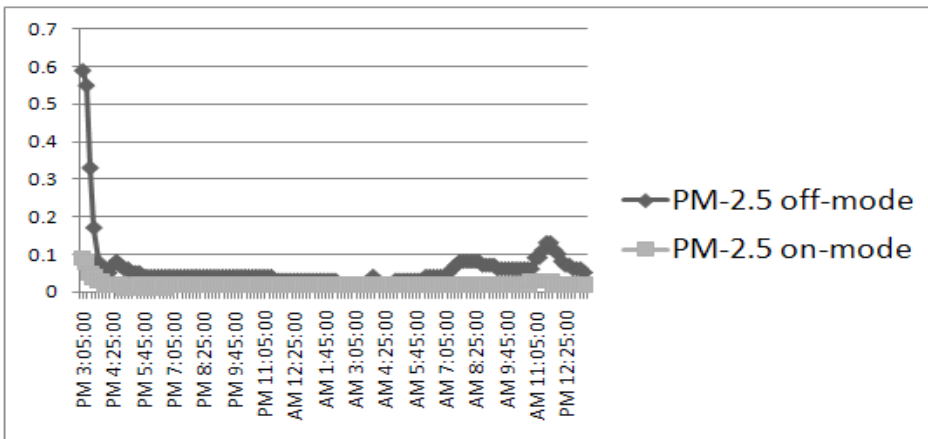


Fig. 39. Comparison of the concentration $PM_{2.5}$ between On-mode and Off-mode in the swine raising stall

돈사내 먼지 $PM_{1.0}$ 의 최대·소, 평균먼지농도는 표 12에서 보는바와 같다. 평균 $PM_{1.0}$ 농도는 시험구가 대조구보다 약 $0.03mg/m^3$ 약 60%가 감소된 것을 알 수 있으며 미세 먼지일수록 수치가 안정화 되며 또한 습식공기정화기의 먼지제거 효과가 미세 먼지일수록 더 좋은 효과가 나타난다는 것을 알 수 있다.

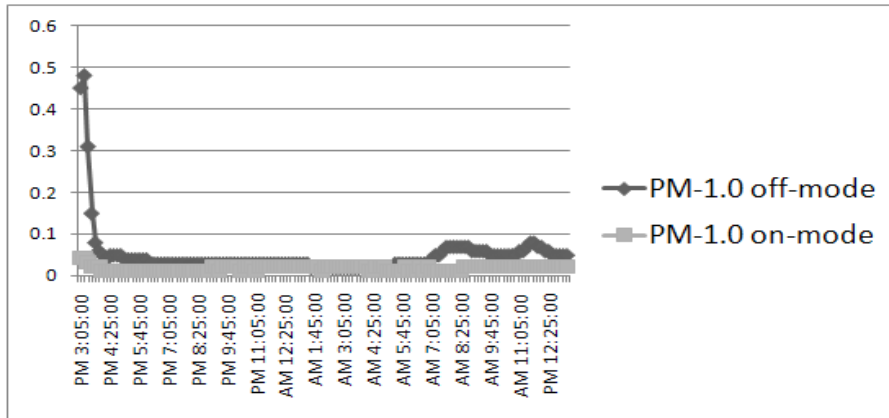


Fig. 40. Comparison of the concentration $PM_{1.0}$ between On-mode and Off-mode in the swine raising stall

그림 40에서 보는바와 같이 습기공기정화기는 돈사 내 먼지감소에 많은 효과를 보인다는 것을 알 수 있다.

2) 돈사 내 NH_3 의 농도 변화

육성돈사 내의 NH_3 의 수치는 상황에 따라 많이 변하는 부분이며 돼지의 수나 크기에 따라 많은 변화가 있는 부분이다. 최대한 환경이 같은 환경을 얻기위해 돼지의 수와 크기를 비슷하게 하며 또한 측정장치 또한 돈사의 중앙에 설치하여 실험하였다.

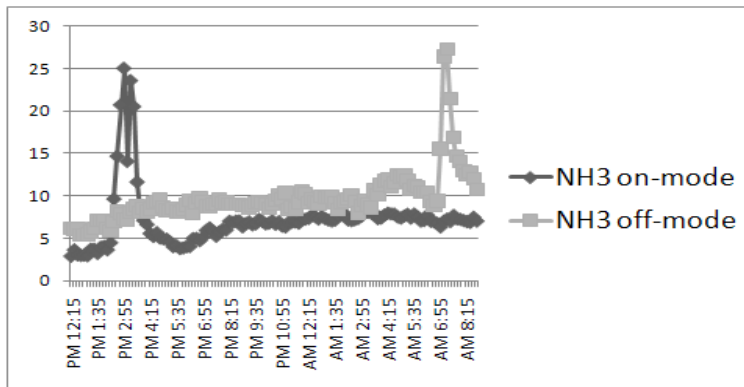


Fig. 41. Comparison of the NH_3 concentration between On-mode and Off-mode in the swine raising stall

위 그림 41에서 시험구와 대조구의 평균 NH_3 수치는 시험구가 7.12ppm 대조구가 9.67ppm으로 약 26%가 감소 되었다.

3) 악취제거 효율

기계를 작동시킨 후 악취와 작동 중지후 일정시간이 지난 후 악취의 변화를 알아 보았다.

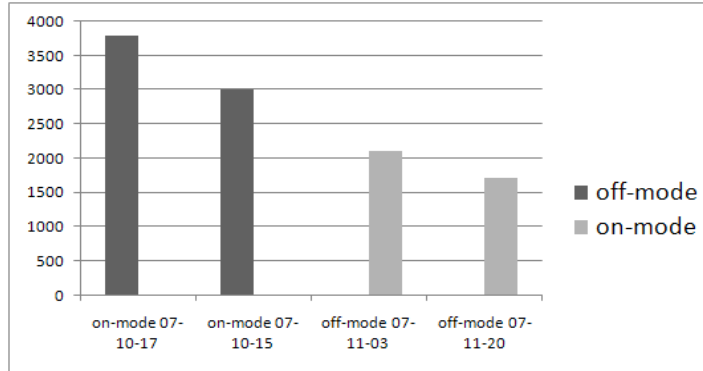


Fig. 42. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the swine finishing stall

4명의 패널리스트의 평균 측정값을 분석한 결과 시험구의 경우 평균 1900 OU/m^3 였으며, 대조구의 경우는 평균 3400 OU/m^3 으로 측정되었으며 약 44%의 감소를 나타내고 있다.

제 3 절 적요

본 연구는 축사로부터 다량 배출되는 고농도 악취가 인근 지역 주민에 민원소지가 되며 환경부에서 발표한 악취방지법에 의해 축사시설도 악취배출시설로 분류되어 있는 실정이다. 따라서 습식공기정화기의 축사 내 공기 중 함유되어 있는 먼지, 암모니아가스 및 악취의 감소효과를 알아보려고 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

가. 무창비육돈사

여름철에 무창 비육돈사에서 습식공기정화기의 공기정화효율을 측정한 결과는 다

음과 같다. 돈사 내부의 분진농도 측정결과 TSP의 경우 공기정화기를 가동하였을 경우 약 14%의 먼지제거율을 나타낸 반면 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 경우에는 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다.

암모니아가스의 경우 On-mode에서 평균 7.6ppm, Off-mode에서는 평균 8.5ppm 을 나타내어 약 10%의 제거효율을 나타내었다. 악취의 경우 On-mode에서는 평균 $253 \text{ OU}/m^3$ 을 나타낸 반면 Off-mode에서는 $367 \text{ OU}/m^3$ 을 나타내어 약 31%의 악취제거효과를 나타내었다. 시험이 여름철에 이루어져서 최대 환기량을 가동하고 있었으며, 따라서 측정 수치가 낮게 나타난 면이 있다.

나. 육계농장

육계농장에서의 암모니아가스 측정결과는 다음과 같다. 시험구가 평균 35ppm, 대조구가 약 30ppm으로 오히려 시험구에서 높게 나타났다. 그 이유는 시험구가 대체적으로 습도가 높았으며 이로 인하여 암모니아 가스도 포화된 양이 많게 된 것으로 사료된다.

먼지 감소 효과는 대조구에서 평균 $0.8\text{mg}/m^3$ 였으며 시험구에서는 평균 $0.6\text{mg}/m^3$ 로서 약 25%의 감소효과를 나타내었다.

습식공기정화기에 의한 가축사양 성적을 알기위하여 시험구와 대조구로 나누어 시험을 수행하였다. 일부 육계의 호흡기 질병이 와서 출하일령을 동일하게 할 수 없었으나, 폐사율을 볼 경우에는 대조구 4.22%, 시험구 3.45% 로 시험구가 일령이 길었음에도 불구하고 대조구 보다 약 18%의 향상된 성적을 나타내었다.

사육 초기에는 습도를 높여주어야 하기 때문에 유익하나 비육말기에 가서는 농장 자체적으로도 많은 습이 발생하기 때문에 사용상에 유의하여야 한다.

다. 커튼식 비육돈사

공기 중 부유먼지 측정결과 PM_{10} 은 약 8%, $PM_{2.5}$ 는 약 50%, $PM_{1.0}$ 은 약 80%의 먼지 감소효과를 나타내었다. 이 결과로 보아 습식공기정화기는 돈사 내 부유먼지 제거에 효과가 있으며, 특히 미세 먼지에 더 많은 효과를 보이는 것을 알 수 있다. 암모니아가스의 제거에서는 약 85%의 감소 효과가 나타났다. 그리고 악취의 경우에 습식공기정화기를 사용하였을 때 약 45%의 악취가 감소되었다. 따라서 습식공기정화기는 돈사 기후환경 개선에 도움이 되는 것으로 판단된다. 특히 동절기로 접어들수록 환기량을 줄이게 되는데 이때 악화되는 기후환경을 습식공기정화기를 사용함으로써 개선할 수 있으며, 폐사율을 절반 수준으로 줄일 수 있다.

깨끗한 순환수를 유지하기 위하여는 살균효과가 뛰어난 목초액을 첨가함으로써 순환수에 발생하는 미생물의 번식을 방지할 수 있다.

라. 육성돈사

습식공기정화기를 사용하였을 때 부유먼지량의 감소가 평균 50% 이상의 효과가 나타났으며 NH_3 의 농도가 약 2.5ppm 즉 26%의 감소가 있었다. 또한 악취는 약 44%의 감소를 보였다. 환절기에서 동절기로 접어들면 환기량을 줄이게 되며 습식공기정화기를 사용하지 않았을 경우에 돈사내부가 뿌옇게 되어 시야가 좁았으나 기기를 사용하게 되면 돈사 끝이 보일 정도로 공기가 깨끗하게 됨을 알 수 있다.

마. 사용상 유의사항

습식공기정화기가 어떠한 경우라도 동일한 효과를 내는 것은 아니다. 관리인이 기기의 특성을 알고 수조에 먼지가 차면 자주 점검을 하여 거름망 청소를 하루에 한두번 해주어야 효과를 최대한으로 얻을 수 있다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 연구는 일체형 및 분리형 습식공기정화 시스템을 개발 제작하여 현장 적용시험을 하고자 하였으며, 아울러 환기 및 공기 유동분석도 하여 적정위치를 규명하고 최종적으로 경제성 분석을 하는 것이다.

습식공기정화기 일체형 및 분리형을 개발 제작하였고, 계절별, 축종별, 사육단계별, 축사별로 시험을 수행하여 양호한 결과를 얻었으며, 시험 초기에 설정하였던 목표를 달성하였다. 초기목표인 축사내에서 발생하는 암모니아가스를 40% 이상 감소하도록 하고, 먼지농도는 30% 이상 감소하도록 한다는 목표를 달성할 수 있었다.

환기방식에 따른 적정위치 선정을 하였으며 경제성을 분석하여 습식공기정화기를 사용하였을 경우의 경제적인 이득을 수치로 나타내었다.

약취감소로 주위 인근주민들의 민원을 감소하며, 또 축사내 암모니아가스 및 먼지를 제거하여 사육환경을 개선함으로써 폐사율을 절반수준으로 줄일 수 있어 양돈업의 경쟁력을 강화할 수 있다고 판단된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

축산시설환경학회지 12권 3호(2006년)에 논문을 게재하였으며, 현재 다른 한편은 심사 중에 있다. 학회 학술대회에 5회에 걸쳐 구두발표를 하였다(한국농업기계학회 2007. 2. 9. 1편, 한국축산시설환경학회 2007. 2. 23. 1편, 한국농기계학회 2008. 2. 19. 2편, 한국축산시설환경학회 2008. 2. 27. 1편).

개발된 기술은 참여업체에 기술이전을 하여 상용화하여서 양돈농가에 적극적으로 보급할 계획이며, 해외 박람회 등에도 참가, 홍보하여 수출에도 확대해 나갈 예정이다.

제 6 장 참고문헌

1. 송준익, 최홍립. 2002. 무창육성돈사의 환기시스템에 따른 환기효율 평가. 동물자원지 Vol.44(1), 135-144.
2. 오인환, 박명수. 1991. 축사의 환경설계. 한국농업기계학회지. 16(2), 188-199.
3. 오인환, 김일수, H. J. Heege. 1995. 양돈용 지열교환기의 개발. 축산시설환경학회지. 1(2), 125-136.
4. 오인환. 2007. 무창 비육돈사에서 습식공기정화기의 유해가스 제거 효율. 한국농업기계학회
2007 동계 학술대회 논문집
5. 유용희. 2004. 양돈장에서 악취발생 요인과 저감방법. Pig&Pork
2004. 7. 176-177.
6. 최희철, 연구영, 송준익, 강희설, 권두중, 유용희, 바로가, 양창범, 천상석, 김용국. 2005. 무창 육계사의 계절별 먼지 농도와 특성 연구. 축산시설환경학회지 Vol.11(3), 197-206.
7. Carpenter, G.A. 1986. Dust in livestock buildings. J. agri. Engng. Res. 33, 227-241.
8. Keener, K. M., R. W. Bottcher, R. D. Munilla, K. E. Parbst and G. L. Van Wickoen, 1999. Field evaluation of an indoor ozonation system for odor control. Proceedings Animal Waste Management Symposium. APWMC. Jan. 27-28. North Carolina State University, Raleigh, NC, 310-313.
9. Kim, K. W., J. H. Woo, C. Y. Lee and D. H. kim. 2003. Effects of Ozonation of the Swine nursery Building on Indoor Air Quality and Growth Performance of Weanling Piglets, J. Anim. Sci. & Technol. Vol.45(6).
10. Nannen, Ch. and W. Buscher. 2006. Einfluss der Tieraktivitat auf Staubfreisetzung und Partikelemissionen. Landtechnik 61(1), 36-37.
11. Watkins, B. D., S. M. Gengemuehle, H. L. Person, M. T. Yokoyama and S. J. Masten, 1997. Ozonation of swine manure wastes to control odours and reduce the concentrations of pathogens and toxic fermentation metabolites. Ozone Science and Engineering. Vol.19, 425-438.
12. MWPS. 1991. Swine Housing and Equipment Handbook. MWPS-8. Midwest Plan
Service. Iowa State University, Ames, IA.
13. Lee Seung-Joo, Dong-Il Chang, and Hong-Hee Chang, 2006. Effect of Biofilter Made

of Composted Pine Tree Bark and Perite on Reducing Odor from Pig House.
Korea

Journal of Environmental Agriculture Vol 25, No 2, pp.118

14. Sohn Bo-kyoon, Sung-gu Kang, Eun-Ju Cho, Shin-Do Kim,

Chang-Ju Lee, and Jeong-Ho Kim, 2006. Estimation of Ammonia Stripping
Condition

for Adequate Aerobic Liquid-Compostion of Swine Manure. Korea J. Soil Sci.
Fert. Vol39. No 2. pp73.

II. 축사용 습식 공기정화시스템의 경제성 분석

A feasibility study on development of a wet air cleaner for livestock
housing

협동연구기관명 : 두레친환경농업연구소

협동연구책임자 : 강 정 일

연 구 원 : 김 정 부

연 구 원 : 강 경 탁

연 구 원 : 고 진 희

요 약 문

I. 제 목

축사용 습식 공기정화시스템의 경제성 분석

II. 연구개발의 목적 및 필요성

축산업의 생산성 향상을 위해 개선되어야 하는 과제 중 하나가 축산 환경의 정비이다. 축산환경 개선은 폐사율 감소, 증체, 품질향상을 통해 축산의 수익성을 제고시킨다. 따라서 학계 및 기업체에서는 축사의 먼지와 암모니아가스를 효율적으로 제거하는 공기정화시스템의 개발을 시도하고 있다. 따라서 ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 경제성 분석을 통해 축사 환경의 효율적 추진과 개발된 기술의 실용화 가능성 등을 진단함이 필요하다.

이 연구의 목표는 첫째, ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 효과분석을 통해 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 개발의 타당성 및 경제성을 분석하고, 둘째, 개발된 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 기술의 실용화 가능성을 경제적 측면에서 진단하여 축사 환경개선 투자의 효율성을 제고시키고자 하며, 셋째, 이를 통해 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 개발의 방향 및 정책적 함의를 제시하는 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

이 연구의 주요 내용은 첫째, 축산 환경개선 기술 관련 여건 변화 전망 및 기술개발의 방향 정립, 둘째, 기술개발의 효과 예측, 셋째, 기술개발의 경제성 분석, 넷째, 개발된 기술의 실용화 가능성 진단 등이다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

이 연구는 ‘습식 공기정화시스템’을 축사에 활용하고자 하는 연구로서, 현재 한국의 여건에서는 매우 앞서가는 연구이다. 이 연구에서 ‘습식 공기정화시스템’ 기술을 축산에 적용하였을 경우의 경제성을 분석한 결과 경제성이 높은 것으로 예측되었다. ‘습식 공기정화시스템’의 사용에 대한 편익비용비율(BC ratio)을 예측한 결과, 비육돈의 BC

ratio는 6.41로 매우 높게 나타났으며, 육계의 BC ratio도 1.80으로 산출되어 경제성이 충분히 있는 것으로 평가되었다.

이 연구에서 이루어진 공기정화시스템 기술은 앞으로 축산업의 생산성 증대에 크게 기여할 것이 확실하다고 생각한다. 따라서 공기정화시스템 기술을 축산농가에 보다 많이 보급하기 위하여 실용화 하여야 할 것으로 판단한다.

SUMMARY

(영문요약문)

I. Title of the study

A feasibility study on development of a wet air cleaner for livestock housing

II. Objectives of the study

The objectives of the study are to analyze an economic feasibility on development of the wet air cleaner for livestock housing, to effectively remove dust and ammonia gas and to suggest directions for practical use of developed technology.

III. Contents and scope of the study

This study is consist of 4 parts as follows ;

First, a methodology of feasibility study regarding to environmental improvement technology in the wet air cleaner for livestock housing is developed,

Second, the benefit and cost of the wet air cleaner are estimated,

Third, an economic feasibility on development of a wet air cleaner for the animal housing is analyzed,

Fourth, recommendations for practical use on the wet air cleaner technique for livestock housing are suggested.

IV. Results and recommendations

This study attempted to analyze economic efficiency of the wet air cleaner for livestock housing and to suggest directions for practical use of developed clean technology.

The wet air cleaners for livestock housing were applied in fattening pork house and broiler chicken house in this study. The analytical results could be summarized as follows;

First, the B/C ratio were estimated to be 6.41 in fattening pork house, and to be 1.80 in broiler chicken house, respectively. They implied that the developed wet air cleaners would be economically justified given the current situation.

Second, the wet air cleaner for livestock housing would be highly recommendable in increasing livestock farming productivity.

CONTENT

Chapter 1. Introduction

- 1.1. Necessity of the study
- 1.2. Objectives of the study
- 1.3. Contents and scope of the study

Chapter 2. Methodology development of feasibility study on animal housing environmental improvement technique by wet air cleaner

- 2.1. Definition of benefit and cost of wet air cleaner
- 2.2. Estimation method development of benefit and cost of wet air cleaner
- 2.3. Methodology development of economic feasibility analysis of wet air cleaner

Chapter 3. Estimation result of benefit of wet air cleaner

- 3.1. Increase effect of animal weight
- 3.2. Decrease effect of animal deaths ratio
- 3.3. Reduction effect of production cost

Chapter 4. Estimation result of cost of wet air cleaner

- 4.1. Analysis of wet air cleaner development cost under current technical situation
- 4.2. Estimation of operating cost of wet air cleaner

Chapter 5. Economic feasibility analysis on development of a wet air cleaner for the animal housing

- 5.1. Benefit estimation of wet air cleaner
- 5.2. Cost estimation of wet air cleaner
- 5.3. Calculation of Benefit/Cost ratio of wet air cleaner

Chapter 6. Recommendation for practical use

Reference

Appendix

목 차

1. 서 론	52
1.1. 연구의 필요성	52
1.2. 연구 목표	52
1.3. 연구내용과 연구방법	52
2. 축사 환경개선 기술의 효과분석 방법론 구축	54
2.1. 공기정화시스템의 편익과 비용의 개념정립	54
2.2. 공기정화시스템의 편익과 비용의 계측방법	56
2.3. 공기정화시스템의 경제성분석 방법	59
3. ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 관련 편익 계측결과	61
3.1. 가축의 증체효과	61
3.2. 폐사율 감소 효과	62
3.3. 생산비 절감 효과	63
4. ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 관련 비용 계측결과	64
4.1. 현행 기술조건하의 축사용 습식 공기정화시스템 개발비 분석	64
4.2. 운영비용의 계측	66
5. 축사용 습식 공기정화시스템의 경제성 분석	71
5.1. ‘습식 공기정화시스템’의 편익 계측	71
5.2. 공기정화시스템의 비용 추정	78
5.3. 공기정화시스템의 경제성 계측	82
6. 개발된 기술의 실용화 가능성 진단	85
참고문헌	87
<부 표>	88

표 목 차

<표 1> 공기정화시스템의 편익항목	55
<표 2> 공기정화시스템의 비용항목	56
<표 3> 비육돈 조사대상 농장의 선정	57
<표 4> 육계 조사대상 농장의 선정	58
<표 5> 조사대상 농장별 습식 공기정화시스템 설치대수	58
<표 6> 비육돈농장의 비육돈 두당 1일 증체량 계측	61
<표 7> 육계농장의 육계 수당 1일 증체량 계측	62
<표 8> 비육돈농장의 폐사율 계측	62
<표 9> 육계농장의 폐사율	63
<표 10> 습식 공기정화시스템 제조원가 계산서(2007)	65
<표 11> 감가상각액 산출 기초자료 및 산출액	66
<표 12> 비육돈 수도광열비 산출 기초자료 및 산출액	67
<표 13> 육계 수도광열비 산출 기초자료 및 산출액	68
<표 14> 수선비 산출 기초자료 및 산출액	69
<표 15> 제재료비 산출 기초자료 및 산출액	69
<표 16> 노력비 산출 기초자료	70
<표 17> 비육돈 생체중 증가에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액	71
<표 18> 비육돈 폐사율 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액	72
<표 19> 방역치료비 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액	73
<표 20> 비육돈 시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 총편익	74
<표 21> 육계 생체중 증가에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액	75
<표 22> 육계 폐사율 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액	76
<표 23> 방역치료비 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액	76
<표 24> 육계 시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 총편익	77
<표 25> ‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 비용계측 기본전제	78
<표 26> 비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 총비용 ·	80
<표 27> ‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 비용계측 기본전제	80
<표 28> 육계 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 총비용 ·	82
<부표 1> 습식 공기정화시스템 재료비 집계표(2007)	88
<부표 2> 습식 공기정화시스템 직접재료비 산출표(2007)	89
<부표 2> (계 속)	90

1. 서 론

1.1. 연구의 필요성

축산업의 생산성 향상을 위해 개선되어야 하는 과제 중 하나가 축산 환경의 정비이다. 축산환경 개선은 폐사율 감소, 증체, 품질향상을 통해 축산의 수익성을 제고시킨다.

학계 및 기업체에서는 축사의 먼지와 암모니아가스를 효율적으로 제거하는 공기정화시스템의 개발을 시도하고 있다. ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 농가보급을 위하여 이 시스템에 대한 경제성 분석을 통해 축사 환경의 효율적 추진과 개발된 기술의 실용화 가능성 등을 진단함이 필요하다.

1.2. 연구 목표

이 연구의 목표는 첫째, ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 효과분석을 통해 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 개발의 타당성 및 경제성을 분석하고, 둘째, 개발된 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 기술의 실용화 가능성을 경제적 측면에서 진단하여 축사 환경개선 투자의 효율성을 제고시키고자 하며, 셋째, 이를 통해 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 개발의 방향 및 정책적 함의를 제시하는데 있다.

1.3. 연구내용과 연구방법

1.3.1. 연구내용

이 연구의 주요 내용은 첫째, 축산 환경개선 기술 관련 여건 변화 전망 및 기술개발의 방향 정립, 둘째, 기술개발의 효과 계측, 셋째, 기술개발의 경제성 분석, 넷째, 개발된 기술의 실용화 가능성 진단 등이다.

1년차 연구의 주요 항목은 ① 현행 기술조건하의 개발비 분석 즉 ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 개발비 분석, ② 축사 환경개선 기술의 효과분석 방법론 구축, ③ ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 효과분석 관련 자료 현지조사 등이다.

2년차 연구의 주요 항목은 ① 경제적 측면에서 축산 환경개선 기술 개발의 방향 정립, ② 기존 기술개발의 실용화 과정에서 경제분석의 문제점과 개선방안 분석, ③ ‘축사용 습식 공기정화시스템’의 효과분석 관련 현지조사 및 효과 계측 등이다.

1.3.2. 연구 방법

이 연구에 필요한 자료는 문헌조사와 현지조사를 통해 수집하였다.

먼저 문헌조사는 국내 및 외국 문헌을 수집하여 분석·검토하였다.

다음으로 현지조사는 기술개발 효과 조사와 축산농가, 관련 산업체, 전문가 및 관련 기관조사를 하였다.

기술개발 효과 조사는 주관 및 협동연구기관에서 연구 계획인 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 시제품의 효과를 조사하였다.

축산농가, 관련 산업체, 전문가 및 관련기관조사는 공기정화기 시스템의 실태 파악, 효과분석 및 개선방안 도출을 위한 축산농가·관련산업체·관련기관을 조사하였다.

이 밖에도 전문가 간담회 등을 통해 전문가의 의견을 수렴하여 실태를 파악하고, 또한 개선방안을 도출하였다.

2. 축사 환경개선 기술의 효과분석 방법론 구축

2.1. 공기정화시스템의 편익과 비용의 개념정립

2.1.1. 편익의 개념정의

축사의 문제는 분진, 각종 가스와 악취 등임. 축사는 여름철의 높은 기온, 겨울철은 축사의 보온으로 인해 암모니아 등 각종 가스가 발생하고, 동시에 악취도 발생한다. 각종 가스와 악취, 분진은 분만돈사에서는 산자율을 떨어트리며, 자돈사에서는 이유율을 낮추어, 이유시의 평균체중이 적어 생육에 지장을 주고 있다.

축사에서 발생하는 유해물질은 주로 암모니아가스, 유화수소, 탄산가스, 습기, 발열 등이다. 공기정화시스템은 가축사육과정에 축사에서 발생하는 암모니아가스, 유화수소, 탄산가스를 청소하고 습기와 온도를 쾌적하게 조절하여 가축이 위생적으로 성장하도록 한다.

일반적으로 암모니아가스, 유화수소, 탄산가스는 가축의 호흡기 세균성 질환을 유발하는 물질이다. 암모니아가스는 $100\mu\text{g}/\ell$ 이상이면 호흡기 질환을 유발한다. 그러나 이들 암모니아가스, 유화수소와 탄산가스는 자연환기로는 청소화가 잘 되지 않음. 따라서 암모니아가스, 유화수소와 탄산가스로 호흡기 질환이 유발되는 환경에서 습도와 온도가 높으면 가축이 폐렴에 걸리게 되고, 이로 인해 가축의 성장에 지장을 초래하여 증체에 장애를 주게 된다. 소와 돼지의 경우 폐렴을 앓게 되면 10~15일간 성장 장애가 온다고 수의적으로 보고 있다.

공기정화시스템은 축사에서 발생하는 이러한 문제점을 해결하여 주는 기계시설이다. 비육돈 사육의 예를 들면 일반적으로 비육돈의 적정 출하중량인 110kg 정도 사육하는데 관행으로는 180일 걸리는데, 공기정화시스템을 축사에 설치하면 이러한 호흡기 장애가 없어 그 기간만큼 성장기간을 단축시킬 수도 있는데, 이런 것이 효과라고 정의할 수 있다.

가축의 스트레스와 질병과 육질은 상관관계가 있다. 공기정화시스템으로 축사환경이 좋아지면 가축의 스트레스가 감소되고, 나아가 질병이 없어 항생제 투입이 감소되기 때문에 육질도 좋아 지는 것이다.

수의학적으로 생육환경이 나쁘면 가축의 교감신경과 부교감신경의 작용으로 스트레스가 발생하며, 이로 인해 장기운동, 소화액 분비 등에 영향을 주어 소화 지장을 초

래하게 된다. 그러나 고온인 여름철에 습식 공기정화시스템은 축사의 온도를 높일 수도 있음에 주의할 필요가 있다.

축사용 습식 공기정화시스템의 사용에 따른 가축의 증체 이유는 ① 암모니아 가스 감소, ② 질병 예방 및 감소, ③ 스트레스 감소 등에 따른 사료효율의 증가라고 생각한다. 이에 대한 수의학적 자료는 “셀리”의 “스트레스 이론(Stress Theory)” 등이 있다¹⁾.

결과적으로 축사용 습식 공기정화시스템의 사용에 따른 생산성 증대효과를 편익으로 정의할 수 있다. 축사용 습식 공기정화시스템의 사용에 따른 생산성 증대는 수익증대효과(가축의 증체량의 변화, 가축의 목표 증체량 달성기간 단축 등), 가축의 육질향상효과, 질병방지효과, 환경보전효과, 가축의 정신위생 개선에 따른 효과, 기타효과 등으로 정의할 수 있다.

공기정화시스템의 편익은 편익발생기준에 따라 편익 항목을 <표 1>과 같이 분류할 수 있다. 편익계측 방법은 편익발생 시점에 따라 편익의 항목이 다르다. 따라서 일정기간의 가축 증체량을 기준으로 편익을 계측하는 방법(이하 ‘증체량 기준’이라 함)과 가축의 출하체중을 일정하게 설정하여 두고 이 목표체중에 도달하는 소요일수를 기준으로 편익을 계측하는 방법(이하 ‘증체소요기간 기준’이라 함)이 있다. ‘증체량 기준’은 가축 체중증가를 비교할 수 있지만 ‘증체소요기간 기준’의 경우는 증체량을 비교하는 것이 무의미 하다. 반대로 증체량 기준의 경우는 증체소요기간을 기준할 경우에 비하여 사료비 절감과 노동력 절감 효과는 없다고 할 수 있다.

<표 1> 공기정화시스템의 편익항목

구 분	편익발생기준		
		증체량 기준	증체소요기간 기준
생산량 증가	체중 증가	○	
	폐사량 감소	○	○
품질개선	육질개선효과	○	○
비용 감소	질병방지에 따른 방역치료비 감소	○	○
	사료량 감소		○
	노동력 감소		○

1) 건국대학교 수의과대학 정병현 교수

2.1.2. 비용의 개념정의

축사용 습식 공기정화시스템을 사용함으로써 발생하는 비용은 공기정화시스템의 구입비, 설치비, 유지관리비, 축산물 생산비 등이다. 이러한 비용 가운데 축사용 습식 공기정화시스템을 사용함으로써 발생하는 비용은 공기정화시스템의 구입비, 설치비, 유지관리비, 기타 경비 등이며, 감소하는 비용은 축산물 생산비 가운데 생육기간 단축에 따른 노동력 및 사료 절감과 질병감소에 따른 수의약품비 등이다.

공기정화시스템의 비용 항목은 <표 2>와 같이 분류할 수 있다. 비용의 계측방법에 따른 비용은 ‘증체량 기준’이나 ‘증체소요일수 기준’ 사이에 차이가 없다.

<표 2> 공기정화시스템의 비용항목

구 분	비용발생기준	증체량 기준	증체소요기간 기준
감가상각	감가상각비(대농구) (기계취득비용) (기계설치비)	○	○
기계 유지관리	수도광열비	○	○
	수선비	○	○
	제재료비	○	○
	노력비	○	○
자본이자	고정자본이자	○	○
	유동자본이자	○	○

2.2. 공기정화시스템의 편익과 비용의 계측방법

2.1.2. 편익의 계측방법

‘습식 공기정화시스템’의 편익과 비용은 ‘습식 공기정화시스템’ 시제품을 제작하고, 이를 시범농장의 축사에 설치하여 관련 효과를 주기적으로 계측하는 방법을 사용하였다.

‘습식 공기정화시스템’을 설치한 시범농장에서 편익과 비용의 조사방법은 대조구와 시험구를 설정하고, 각각을 주기적으로 조사하였다.

2.2.1. 편익과 비용 조사대상의 선정

‘습식 공기정화시스템’의 경제성분석을 위한 편익과 비용을 조사하기 위하여 다음과 같이 시범농장을 설정하였다.

가. 조사대상 가축의 선정

이 연구는 양돈농장과 육계농장에 ‘습식 공기정화시스템’을 설치하여 시험 연구하였다. 그리고 양돈농장에는 비육돈사와 육성돈사로 나누어 각각 ‘습식 공기정화시스템’을 설치하여 조사하였다. 그러나 ‘습식 공기정화시스템’의 경제성분석을 위한 조사대상 가축의 종류는 비육돈과 육계 2가지로 한정하여 조사하였다. 그 이유는 육성돈의 경우 어린 돼지가 태어나면 무조건 육성돈사로 입식하여 일정한 편익과 비용의 조사가 거의 불가능하였으며, 특히 육성돈사에는 방역 등의 이유로 농장 주인이 외부인의 육성돈사 출입을 꺼려하였기 때문이다.

나. 비육돈 조사대상 농장의 선정

‘습식 공기정화시스템’의 경제성분석을 위한 비육돈 사육농장은 <표 3>과 같이 2농장을 선정하였다.

<표 3> 비육돈 조사대상 농장의 선정

농장별 구분		농장 1	농장 2
농장명		대암축산	보래농장
소재지		경기도 여주군 대신면 천서리 328	충북 제천시 봉양읍 장평1리 908-1
조사 두수 (두)	시험구	480	700
	대조구	480	700

다. 육계 조사대상 농장의 선정

‘습식 공기정화시스템’의 경제성분석을 위한 비육돈 사육농장은 <표 4>와 같이 1농장을 선정하였다.

<표 4> 육계 조사대상 농장의 선정

농장별		농장 1
구 분		
농 장 명		청수농장
소 재 지		충북 충주시 주덕읍 당우리
조사 두수 (수)	시험구	12,000
	대조구	13,900

라. 비육돈 조사대상 농장의 선정

이 연구를 위하여 조사대상 농장에 ‘습식 공기정화시스템’을 설치한 대수는 <표 5>와 같다. 즉 비육돈 시범농장 2개소에 4대(2대/농장), 육성돈 시범농장 1개소에 2대(고정형, 분리형), 그리고 육계 시범농장 1개소에 2대를 설치하여 시험하였다.

<표 5> 조사대상 농장별 습식 공기정화시스템 설치대수

농장별	농장수(농장)	설치대수(대)	비 고
비육돈 시범농장	2	4	
육성돈 시범농장	2	2	고정형 및 분리형
육 계 시범농장	1	2	

주 : 농장당 2대 설치

마. ‘습식 공기정화시스템’ 개발비 조사대사의 선정

이 연구의 핵심인 ‘습식 공기정화시스템’의 개발을 위한 개발비 조사는 ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 생산기업인 중앙기술산업(주)을 조사대상으로 하였다.

2.2.2. 편익과 비용의 계측방법

가. 편익의 조사

편익의 계측을 위한 조사항목은 비육돈과 육계의 체중 증가 등에 따른 생산성 증가, 폐사율 증감, 그리고 암모니아가스량, 악취량, 먼지량의 증감 등에 의한 기타효과 등이다.

편익의 조사 빈도는 첫째, 생산성의 조사는 입식시와 출하시에 1회씩 조사하며, 둘째, 폐사율은 주기적으로 조사하고, 셋째, 암모니아가스는 여름철과 가을철에 각각 2회 조사하며, 넷째, 악취 및 먼지는 여름철과 가을철에 각각 1회 조사하였다.

또한 편익의 조사방법은 조사표에 의한 비육돈과 육계 시범농장의 방문면접조사 방법을 이용하였다.

나. 비용의 조사

비육돈과 육계의 시범농장에서 축사용 습식 공기정화시스템을 사용함으로써 증가하는 비용과 감소하는 비용을 실측으로 조사하였다.

비용의 계측을 위한 조사항목은 첫째, 축사용 습식 공기정화시스템 제조원가, 둘째, 설치비 및 유지관리비, 셋째, 생산비 증감 등이다.

비용의 조사 빈도는 첫째, 생산비 조사는 주기적으로 조사하며, 둘째, 축사용 습식 공기정화시스템 제조원가, 설치비 및 유지관리비는 1회 조사하였다.

그리고 비용의 조사방법은 축사용 습식 공기정화시스템 생산기업인 '중앙기술산업(주)'과 비육돈과 육계 시범농장을 방문면접조사 하는 방법을 이용하였다.

2.3. 공기정화시스템의 경제성분석 방법

2.3.1. 분석지표

경제성 분석의 개념은 축사용 습식 공기정화시스템의 개발사용에 따른 제반 비용 및 편익을 비교하는 것이다.

경제성 분석에서 경제성의 지표는 ① 편익·비용비율(B/C Ratio), ② 추가순수익의 순현재가치(NPW : Net Present Worth), ③ 내부투자수익율(IRR : Internal Rate of Return) 등을 들 수 있다.

2.3.2. 분석방법

경제성 분석은 편익·비용비율법(B/C Ratio)과 추가순수익의 순현재가치법(NPW : Net Present Worth)이 있다.

가. 편익-비용비율법(Benefit-Cost Ratio : BCratio)

Benefit-Cost Ratio 분석법은 투자사업으로부터 미래에 발생할 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 비교하여 투자안의 경제적 타당성을 평가하는 방법이다. Benefit-Cost Ratio의 분석모형은 식 (1)과 같다.

$$BCratio = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{B_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}} \dots\dots\dots (1)$$

단, B_n : n차 년도에 발생하는 편익
 C_n : n차 년도에 발생하는 비용
 r : 할인율

Benefit-Cost Ratio 분석법에서 분석된 BCratio가 1보다 큰($BCratio > 1$) 경우에는 그 투자안을 채택하고, BCratio가 1보다 작은($BCratio < 1$) 경우에는 그 투자안은 기각한다.

나. 순현재가치법(Net Present Value : NPV)

순현재가치법(Net Present Value : NPV)은 투자사업으로부터 미래에 발생할 편익의 현재가치와 비용의 순현재가치를 비교하여 투자안의 경제적 타당성을 평가하는 방법이다. NPV의 분석모형은 식 (2)와 같다.

$$NPV = (B_0 - C_0) + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} + \dots$$

..... (2)

단, B_n : n차 년도에 발생하는 편익
 C_n : n차 년도에 발생하는 비용
 r : 할인율

순현재가치법(Net Present Value : NPV)에서는 투자사업으로 부터 미래에 발생할 편익과 비용의 차이인 순수익인 NPW가 0보다 큰($NPV > 0$) 경우에는 투자안을 채택하고, NPW가 0보다 작은($NPV < 0$) 경우에는 투자안은 기각한다.

3. ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 관련 편익 계측결과

3.1. 가축의 증체효과²⁾

3.1.1. 비육돈

비육돈시험농장에서 비육돈의 증체효과 조사결과에 의하면, 비육돈의 두당 1일 증체량은 공기정화시스템을 사용하지 않은 대조구에서 796.2g/일, 공기정화시스템을 사용한 시험구에서 816.9g/일로 나타났다(표 6). 따라서 공기정화시스템의 비육돈 증체효과는 약 2.6%인 것으로 추정되었다.

<표 6> 비육돈농장의 비육돈 두당 1일 증체량 계측

구 분	단 위	두당 1일 증체량			비 고
		㉠농장	㉡농장	평균 ¹⁾	
무가동시(A)	g/일	816.7	782.1	796.2	90일 비육돈
가 동 시(B)	g/일	833.3	805.6	816.9	90일 비육돈
증체량(B-A)	g/일	16.6	23.5	20.7	
변화율(B/A)	%	102.0	103.0	102.6	

주 : 1) 농장별 돈사당 사육두수로 가중평균하여 산출하였음.

자료 : 현지조사

3.1.2. 육계

육계시험농장에서 육계의 증체효과 조사결과에 의하면, 공기정화시스템이 육계의 수당 1일 증체량은 대조구에서 44.4g/일, 시험구에서 46.4g/일로 나타났다(표 7). 따라서 공기정화시스템의 육계 증체효과는 약 4.5%인 것으로 추정되었다. 그러나 이는 대조구

2) 가축의 증체효과 계측은 비육돈농장과 육계농장에서 조사하였음. 비육돈과 육계의 증체효과 계측은 가축의 질병을 우려하여 농장에서 돈사와 계사의 출입 제한 등으로 조사에 애로가 많았음.

의 육계는 29일령이며, 시험구의 육계는 34일령이었기 때문에 조사 자료의 신빙성이 문제될 수 있다.

<표 7> 육계농장의 육계 수당 1일 증체량 계측

구 분	단 위	두당 1일 증체량	비 고
무가동시(A)	g/일	44.4	29일령 육계
가 동 시(B)	g/일	46.4	34일령 육계
증체량(B-A)	g/일	2.0	
변화율(B/A)	%	104.5	

자료 : 현지조사

3.2. 폐사율 감소 효과

3.2.1. 비육돈

비육돈시험농장에서 비육돈의 폐사율 조사결과에 의하면 비육돈의 폐사율은 대조구에서 33.1%, 시험구에서 13.0%로 나타났다(표 8). 이는 공기정화시스템이 비육돈의 폐사율을 60.7% 낮추는 것으로 볼 수 있다.

비육돈시험농장의 농장별 폐사율을 보면 폐사율의 ㉠농장에서는 73.3%, ㉡농장에서는 50.0%가 감소한 것으로 각각 계측되었다. 따라서 습식 공기정화시스템을 사용한 결과 비육돈의 폐사를 크게 방지하는 효과를 보였다.

<표 8> 비육돈농장의 폐사율 계측

구 분	폐사율(%)			비 고
	㉠농장	㉡농장	평균 ¹⁾	
무가동시(A)	17.5	20.0	19.0	
가 동 시(B)	10.0	15.0	13.0	
폐사방지율(B-A)	7.5	5.0	6.0	
변화율(B/A)	-42.8	-25.0	-31.5	

주 : 1) 농장별 돈사당 사육두수로 가중평균하여 산출하였음.

자료 : 현지조사

3.2.2. 육계

육계시험농장에서 육계의 폐사율 조사결과에 의하면 육계의 폐사율은 대조구에서 4.22%, 시험구에서 3.45%로 나타났다(표 9). 이는 공기정화시스템이 육계의 폐사율을 약 18% 낮추는 것으로 볼 수 있다.

육계시험농장에서 무가동 계사 6,000수, 가동 계사 6,000수를 사육한 결과 무가동 계사에서는 253마리, 가동 계사에는 207마리의 육계가 폐사하였다. 따라서 습식 공기정화 시스템을 사용한 결과 46수의 육계 폐사를 방지하는 효과를 보였다.

<표 9> 육계농장의 폐사율

구 분	폐사율(%)	6,000수당 폐사수(수)	비 고
무가동시(A)	4.22	253	
가 동 시(B)	3.45	207	
폐사방지율(B-A)	0.77		
변화율(B/A)	81.8	46	

자료 : 현지조사

3.3. 생산비 절감 효과

습식 공기정화시스템의 비육돈 및 육계의 생산비 절약효과는 축산농장의 메탄가스 등을 감소시켜 농장의 유지관리비 일부 절감, 그리고 생산비 가운데 생육기간 단축으로 목표 체중 조기 도달에 따른 노동력 절감, 사료비 절감과 질병감소에 따른 수의약품비 절감 등이 주된 효과이다.

4. ‘축사용 습식 공기정화시스템’ 관련 비용 계측결과

4.1. 현행 기술조건하의 축사용 습식 공기정화시스템 개발비 분석

4.1.1. 개발비 분석 방법

‘습식 공기정화시스템’의 개발비는 참여기업에서 2007년에 작성한 습식공기정화시스템의 예정원가계산서를 참고하였다.

이 연구에서 조사한 ‘습식 공기정화시스템’의 형식은 ‘일체형 습식 공기정화시스템’이며, 개발비의 조사시점은 2008년 2월을 기준으로 조사하였다.

‘습식 공기정화시스템’의 개발비 조사는 ‘국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령’ 제9조, ‘국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙’ 제6조 내지 제11조, ‘원가계산에 의한 예정가격작성기준’³⁾, 그리고 관계되는 제반자료 및 증거자료를 근거로 하였다.

4.1.2. 개발비 분석 결과

이 연구의 참여기업에서 개발한 ‘습식 공기정화시스템’의 개발비는 <표 10>의 원가계산서에서 보는 같이 대당 9,180천원으로 분석되었다.

‘습식 공기정화시스템’의 개발비는 재료비 5,893천원, 노무비 1,428천원, 경비 668천원, 일반관리비 559천원, 이윤 637천원으로 구성되어 있다. ‘습식 공기정화시스템’의 개발비는 재료비가 64.15%로 가장 크고, 다음으로 노무비 15.55%, 경비 7.27%, 이윤 6.94%, 일반관리비 6.09%의 순으로 구성되어 있다.

3) 재정경제원 회계예규 2200, 04-105-3

<표 10> 습식 공기정화시스템 제조원가 계산서(2007)

단위 : 원

비 목		금 액	구정비(%)	비 고
재료비	직접재료비	5,887,655		
	간접재료비	5,712		
	소 계	5,893,367	64.15	
노무비	직접노무비	1,200,123		
	간접노무비	228,023		
	소 계	1,428,146	15.55	
경 비	복리후생비	81,611		
	전 력 비	42,084		
	가스수도비	12,594		
	감가상각비	246,206		
	세금과공과	17,644		
	임 차 료	6,671		
	보 험 료	7,606		
	수 선 비	24,627		
	운 반 비	30,051		
	기 타 경 비	198,885		
	소 계	667,979	7.27	
제 조 원 가	7,989,492			
일 반 관 리 비	559,264	6.09	제조원가 × 7%	
이 윤	637,293	6.94	(노무비 + 경비 + 일반관리비) × 24%	
합 계	9,186,049	100.00		
총 원 가	9,180,000		만원단위 이하 절사	

주 : 1. 조사대상 기종 : 습식 공기정화시스템 JP-6500 형식 1식을 기준
 2. 가격기준 : 2007년 기준가격으로 부가가치세를 제외한 금액
 3. 재료비 : <부표 1> 및 <부표 2> 참조
 자료 : 중앙기술산업(주)

4.2. 운영비용의 계측

‘습식 공기정화시스템’의 운영비는 시설의 유지관리에 필요한 감가상각비, 수도광열비, 수선비, 제재료비, 노력비 등으로, 이들 항목 다음과 같은 방법으로 계측하였다.

4.2.1. 감가상각액

감가상각 방법은 일반적으로 정액법과 정률법이 이용되고 있는데, 이 연구에서는 정액법을 이용하여 감가상각비를 산출하였다. 정액법에 의한 감가상각액의 산식은 식 (3)과 같다.

$$\text{감가상각액} = [(\text{취득원가} - \text{잔존가액}) + \text{설치비}] \div \text{내용연수} \dots\dots\dots (3)$$

감가상각액을 산출하기 위한 기초자료는 취득원가, 잔존가액, 설치비, 내용연수 등에 관한 자료의 정의가 필요하다. 이 연구에서는 다음과 같이 기초자료를 정의하였다(표 11).

<표 11> 감가상각액 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원	9,180,000	
	잔존가액	원	918,000	9,180,000원 × 10%
	설치비	원	100,000	
	내용연수	년	8	
감가상각액 산출		원/년	1,045,250	$[(9,180,000 - 918,000) + 100,000] \div 8$

자료 : 중앙기술산업(주)

첫째, 취득원가와 설치비는 습식 공기정화시스템의 기계구입비와 설치비로서 취득원가는 9,180,000원, 설치비(기계설치 인건비)는 100,000원으로 정의하였다.

둘째, 내용연수는 습식 공기정화시스템의 사용 가능 기간으로서, 현재 조달청고시 제 2006-1호⁴⁾의 공기조화기는 물품분류 ‘41군 냉동, 공기조화 장치 및 환기장비’로 분류되

4) 조달청고시 제2006-1호(2006. 1. 26)는 조달청에서 물품의 내용연수를 물품관리법시행규칙 제25조에 근거하여 조달청고시로 제정하여 고시하는 목적은 국가기관에서 공통적으로 사용하

어 있으며, 내용연수는 8년으로 규정되어 있다. 따라서 이 연구에서 추정내용연수는 8년으로 하였다. 일반적으로 공기정화시스템의 내용연수는 돈사에 사용할 경우가 계사에 사용할 경우보다 2~3년정도 빨리 부식되지만, 이를 고려하지 않고 조달청고시 기준에 의하여 평가하였다.

셋째, 잔존가치는 ‘습식 공기정화시스템’의 내용연수가 경과하고 폐기된 기계의 남아 있는 가치로서 일반적으로 기계구입비의 10%를 잔존가치율로 하고 있다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’의 잔존가액은 918,000원으로 정의하였다.

위와 같은 방법으로 감가상각비를 계측한 결과는 다음과 같이 연간 1,045,250원으로 산출되었다.

4.2.2. 수도광열비

‘습식 공기정화시스템’의 동력은 전력이다. ‘습식 공기정화시스템’의 소요전력 사양은 1,085W, 220V, 단상으로 되어 있다.

전력비 계산을 위한 자료는 사육일수, 시간당 전력 소요량, 가축 사육을 위한 공기정화시스템 가동시간, 공기정화시스템 가동 전력소요량 등의 자료가 필요하다. 수도광열비에 대한 자료를 비육돈과 육계로 나누어 계측하면 다음과 같다.

가. 비육돈

비육돈의 수도광열비 계측 결과는 <표 12>와 같다.

<표 12> 비육돈 수도광열비 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	기 준	비 고
기초자료	비육돈사육 일수	일	90	
	시간당 소요 전력량	W	1,085	
	공기정화시스템 가동시간	시간	2,160	90일 × 24시간
	공기정화시스템 가동 전력소요량	KW	2,343.6	2,160시간 × 1,85W
	전기요금	기본요금	원/W	1,070
전력사용량요금		원/W	36.40	
비육돈 수도광열비 산출액		원	86,377	

자료 : 중앙기술산업(주) 및 현지조사

는 주요물품에 대하여 물품의 경제적인 사용기간인 내용연수를 정하고 이를 적용하기 위한 기준을 정함으로써 국가물품을 효율적으로 관리하기 위한 것임.

비육돈의 사육 일수는 90일, 시간당 소요 전력량은 1,085W로서, 비육돈사육을 위한 공기정화시스템 가동시간은 2,160시간이며, 비육돈사육을 위한 공기정화시스템 가동 전력소요량은 2,343.6KW가 소요된다. 그리고 전기요금은 농사용전력(병)⁵⁾을 적용할 경우, 기본요금은 요금적용전력에 대하여 KW당 1,070원이며, 전력량요금은 모든 사용전력량에 대하여 KW당 36.40원이다. 이를 이용하여 비육돈의 사육을 위한 '습식 공기정화시스템'의 수도광열비는 86,377원으로 계측되었다.

나. 육계

육계의 수도광열비 계측 결과는 <표 13>과 같다.

<표 13> 육계 수도광열비 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	기 준	비 고
기초자료	육계사육 일수	일	35	
	시간당 소요 전력량	W	1,085	
	공기정화시스템 가동시간	시간	840	35일 × 24시간
	공기정화시스템 가동 전력소요량	KW	911.4	840시간 × 1,85W
	전기요금	기본요금	원/W	1,070
전력사용량요금		원/W	36.40	
육계 수도광열비 산출액		원	34,245	

자료 : 중앙기술산업(주) 및 현지조사

5) 한국전력공사의 농사용전기료에 대한 규정은 다음과 같음.

1. <전기공급약관> '별표 1' 월간 전기요금표

다. 농사용전력(병)

(1) 기본요금 : 요금적용전력에 대하여 : KW당 1,070원

(2) 전력량요금 : 모든 사용전력량에 대하여 : KW당 36.40원

2. <전기공급약관> 제43조 제3항의 1

③ 농사용전력(병)의 적용기준은 다음과 같다.

1. 약관 제60조 제3호에서 정한 "농작물"이란 한국표준산업분류 소분류 "011", "축산업"이란 소분류 "012", "수산물양식업"이란 세세분류 "05211, 05212, 05213"에 해당하는 산업을 말한다.

3. <기본공급약관> 제60조 제3호

3. 농사용전력(병)

가. 농작물재배·축산·양잠·수산물양식업에 전력을 사용하는 고객으로서 농사용전력(갑) 및 농사용전력(을) 이외의 고객 (2002. 12. 31, 2004. 3. 2 개정)

나. 농수산물 생산자의 농수산물 건조시설, 농작물 저온보관시설, 수산업협동조합 또는 어촌계가 단독 소유하여 운영하는 수산물 제빙·냉동시설 (2002. 12. 31 신설)

다. 농작물재배·축산·양잠·수산물양식업 고객의 해충 구제(驅除) 및 유인용 전등 (2006. 1. 23 신설, 2006. 6. 28 개정)

육계의 사육 일수는 35일, 시간당 소요 전력량은 1,085W로서, 육계사육을 위한 공기정화시스템 가동시간은 840시간이며, 육계사육을 위한 공기정화시스템 가동 전력소요량은 911.4KW가 소요된다. 그리고 전기요금은 농사용전력(병)을 적용할 경우, 기본요금은 요금적용전력에 대하여 KW당 1,070원이며, 전력량요금은 모든 사용전력량에 대하여 KW당 36.40원이다. 이를 이용하여 육계의 사육을 위한 ‘습식 공기정화시스템’의 수도광열비는 34,245원으로 계측되었다.

4.2.3. 수선비

일반적으로 수선비는 시설 취득원가의 0.5%를 적용하고 있다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’의 수선비를 계측한 결과는 <표 14>와 같다.

<표 14> 수선비 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원	9,180,000	
	수선비 적용율	%	0.5	
수선비 산출액		원	45,900	9,180,000 × 0.5%

자료 : 중앙기술산업(주) 및 현지조사

4.2.4. 제재료비

제재료비도 수선비와 같이 시설 취득원가의 0.5%를 적용하는 것이 일반적이다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’의 제재료비를 계측한 결과는 <표 15>와 같다.

<표 15> 제재료비 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	기 준	비 고
기초자료	취득원가	원	9,180,000	
	수선비 적용율	%	0.5	
제재료비 산출액		원	45,900	9,180,000 × 0.5%

자료 : 중앙기술산업(주) 및 현지조사

4.2.5. 노력비

노력비는 ‘습식 공기정화시스템’의 운전인건비이다. 따라서 ‘습식 공기정화시스템’을 설치할 경우 이를 가동하는데 1일당 특수인부의 노동력이 10분 정도 소요되며, 1일 인건비 단가⁶⁾는 62,171원/1일(8시간(480분))이다. 따라서 1일 10분의 인건비 단가는 1,295원/10분(1일 10분 작업 기준)으로 계측되었다(표 16).

<표 16> 노력비 산출 기초자료

비 목	단위	기 준	비 고
공기정화기 가동 1일 소요노동	분	10	
1일 인건비 단가	원/일	62,171	
10분간 인건비 단가	원/10분	1,295	

자료 : 중앙기술산업(주) 및 현지조사

6) 농협중앙회에서 발표한 ‘2007년도 8월기준 남자 1일 농업노동임금’ 62,171원을 적용함.

5. 축사용 습식 공기정화시스템의 경제성 분석

5.1. '습식 공기정화시스템'의 편익 계측

'습식 공기정화시스템'의 편익 계측은 생체중에 의한 편익, 폐사율 감소에 의한 편익, 방역치료비 감소에 의한 편익으로 구분하여 계측하였으며, 이를 다시 비육돈과 육계로 구분하여 각각 계측하였다.

5.1.1. 비육돈

가. 생체중 증가에 의한 편익

'습식 공기정화시스템'에 의한 비육돈의 생체중 증가에 의한 편익은 2개 시범농장에서 조사된 자료를 이용하여 사육두수, 생육기간, 비육돈 증체중량, 돈육가격, 부산물 증산액 등을 계측하여 비육돈의 생체중 증가에 의한 편익을 계측하였다(표 17).

<표 17> 비육돈 생체중 증가에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	금액 또는 물량	비 고
기초 자료	공기정화기 대당 비육돈 사육 두수	두	295	평균: (㉠동장 240두 + ㉡동장 350두) ÷ 2 = 295두
	생육기간	일	90	
	비육돈 증체중량	g/일/두	20.7	
	부산물 증산액	%	0.08	주산물 가액에서 차지하는 비중
	돈육 산지가격	원/kg	2,210	2007년 평균 산지가격
생체중 증가 편익	비육돈 총중량증가	Kg	549.6	$295\text{두} \times 20.7\text{g} \times 90\text{일}$
	주산물 증가액	원	1,214,616	비육돈 총중량증가 × kg당 산지가격
	부산물 증산액	원	972	$1,214,616\text{원} \times 0.08\%$
	편익 총계	원	1,215,588	

자료 : 현지조사

비육돈의 생체중에 의한 편익의 계측을 위한 기초자료인 <표 6>에서 공기정화시스템 대당 사육두수 295두, 생육기간 90일, 1일 비육돈 생산량 증가 20.7g/1일, 부산물 증산액은 주산물의 0.08%,⁷⁾ 돈육 산지가격⁸⁾은 2,210원/kg을 각각 적용하였다.

그 결과 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈 중량이 549.6kg 증가되었다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 주산물 증산액은 1,214,616원, 부산물 증산액은 972원이 증가되어 생체중 증가에 의한 총편익은 1,215,588원으로 계측되었다.

나. 폐사율 감소에 의한 편익

‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 폐사율 감소에 의한 편익은 생체중에 의한 편익의 계측과 마찬가지로 2개 시범농장에서 조사된 자료를 이용하여 사육두수, 생육기간, 폐사율 감소에 따른 생산증가, 비육돈 증체중량, 부산물 증산액, 돈육가격 등을 계측하여 비육돈의 폐사율 감소에 의한 편익을 계측하였다(표 18).

<표 18> 비육돈 폐사율 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	금액 또는 물량	비 고
기초자료	공기정화기 대당 비육돈 사육 두수	두	295	평균: (㉠농장 240두 + ㉡농장 350두) ÷ 2 = 295두
	생육기간	일	90	
	폐사율 감소에 따른 생산 증가	%	6.0	
	비육돈 증체중량	kg	73.5	
	부산물 증산액	%	0.08	주산물 가액에서 차지하는 비중
	돈육 산지가격	원/kg	2,210	2007년 평균 산지가격
생체중 증가 편익	폐사율 감소에 따른 총중량 증가	두	18	295두 × 6.0%
	주산물 증가액	원	2,923,830	생산증가 두수 × 두당 중량 × kg당 산지가격
	부산물 증산액	원	2,339	2,923,830원 × 0.08%
	편익 총계	원	2,926,169	

자료 : 현지조사

- 7) 국립농산물품질관리원(2006)의 전국평균 비육돈생산비자료를 근거로 계산한 결과 조수입에 대한 부산물 수입의 비중은 0.08%였음.
- 8) 비육돈가격은 “농협중앙회, 2008. 2. 「축산물가격정보」”에 발표된 2007년 평균 산지가격은 2,210원/생체kg을 적용하여 분석함. 참고로 2007년 평균 도매가격은 3,247원/생체kg 이었음.

비육돈의 폐사율 감소에 의한 편익의 계측을 위한 기초자료인 <표 8>에서 공기정화시스템 대당 사육두수 295두, 생육기간 90일, 폐사율 감소에 따른 생산증가 6.0%, 비육돈 증체중량⁹⁾ 73.5kg, 부산물 증산액 주산물의 0.08%, 돈육 산지가격 2,210원/kg원을 각각 적용하였다.

그 결과 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈 중량이 1,323kg 증가되었다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 주산물 증산액은 2,923,830원, 부산물 증산액은 2,339원이 증가되어 폐사율 감소에 의한 총편익은 2,926,169원으로 계측되었다.

다. 방역치료비 감소에 의한 편익

‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 방역치료비 감소에 의한 편익은 생체중에 의한 편익의 계측과 마찬가지로 2개 시범농장에서 조사된 자료를 이용하여 사육두수, 표준생산비에서의 방역비, 방역치료비 감소비율 등을 계측하여 비육돈의 폐사율 감소에 의한 편익을 계측하였다(표 19).

<표 19> 방역치료비 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	금액 또는 물량	비 고
기초 자료	공기정화기 대당 비육돈 사육 두수	두	295	평균: (㉠농장 240두 + ㉡농장 350두) ÷ 2 = 295두
	표준생산비에서의 방역비	원/두	5,518	
	방역치료비 감소추정	%	27	<표 8> 참조
생체중 증가 편익	방역치료비 감소에 따른 감소액	원	439,509	표준생산비에서의 방역비 × 방역치료비 감소비율 = (5,518원/두 × 295두) × 27%

자료 : 현지조사

방역치료비 감소에 의한 편익의 계측을 위한 기초자료인 <표 8>에서 공기정화시스템 대당 사육두수 295두, 표준생산비에서의 두당 방역비 5,518원, 방역치료비 감소비율 추정 27%(<표 8> 참조)를 각각 적용하였다.

그 결과 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 방역치료비 감소에 따른 비육돈의 총편익은 439,509원으로 계측되었다.

9) 비육돈 증체중량은 출하중량에서 비육돈사 입식시 중량을 공제하여 산출하였음.

라. 비육돈시험농장의 공기정화시스템에 의한 총편익

비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 편익은 총 4,581,266원으로 계측되었다(표 20). ‘습식 공기정화시스템’에 의한 추가적인 총편익의 내용은 생체중 증가에 의한 편익, 폐사율 감소에 의한 편익, 방역치료비 감소액이다.

<표 20> 비육돈 시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 총편익

단위 : 원

편익발생기준		증체량 및 비용감소액	비 고
생산량 증가	증체편익	1,215,588	
	폐사량 감소에 의한 편익	2,926,169	
비용 감소	방역치료비 감소에 의한 편익	439,509	
계		4,581,266	

5.1.2. 육계

가. 생체중 증가에 의한 편익

‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 생체중 증가에 의한 편익은 1개 시범농장에서 조사된 자료를 이용하여 사육수수, 생육기간, 육계 증체중량, 부산물 증산액, 육계가격 등을 계측하여 육계의 생체중 증가에 의한 편익을 계측하였다(표 21).

육계의 생체중에 의한 편익의 계측을 위한 기초자료인 <표 7>에서 공기정화시스템 대당 사육수수 6,000수, 생육기간 35일, 1일 육계 생산량 증가 2g/1일, 부산물 증산액은 주산물의 0.3%,¹⁰⁾ 육계 산지가격¹¹⁾은 1,118원/kg을 각각 적용하였다.

그 결과 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계 중량이 420kg 증가되었다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 주산물 증산액은 469,560원, 부산물 증산액은 1,408원이 증가되어 생체중 증가에 의한 총편익은 470,968원으로 계측되었다.

10) 국립농산물품질관리원(2006)의 전국평균 육계생산비자료를 근거로 계산한 결과 조수입에 대한 부산물 수입의 비중은 0.003%였음.

11) 육계가격은 “농협중앙회, 2007. 2. 「축산물가격정보」”에 발표된 2007년 평균 산지가격은 1,118원/생체kg을 적용하여 분석함. 참고로 2007년 평균 도매가격 2,030원/생체kg 이었음.

<표 21> 육계 생체중 증가에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	금액 또는 물량	비 고
기초 자료	공기정화기 대당 육계 사육수수	수	6,000	
	생육기간	일	35	
	육계 증체중량	g/일/ 수	2	
	부산물 증산액	%	0.3	주산물 가액에서 차지하는 비중
	육계 산지가격	원/kg	1,118	2007년 평균 산지가격
생체중 증가 편익	육계 총중량증가	Kg	420	6,000수 × 2g × 35일
	주산물 증가액	원	469,560	육계 총중량증가 × kg당 산지가격
	부산물 증산액	원	1,408	469,560원 × 0.3%
	편익 총계	원	470,968	

자료 : 현지조사

나. 폐사율 감소에 의한 편익

‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 폐사율 감소에 의한 편익은 생체중에 의한 편익의 계측과 마찬가지로 1개 시범농장에서 조사된 자료를 이용하여 사육수수, 생육기간, 폐사율 감소에 따른 생산증가, 육계 증체중량, 부산물 증산액, 육계가격 등을 계측하여 육계의 폐사율 감소에 의한 편익을 계측하였다(표 22).

육계의 폐사율 감소에 의한 편익의 계측을 위한 기초자료인 <표 8>에서 공기정화시스템 대당 사육수수 6,000수, 생육기간 35일, 폐사율 감소에 따른 생산증가 0.77%,¹²⁾ 육계 중량 1.47kg/수, 부산물 증산액은 주산물의 0.3%, 육계 산지가격 1,118원/kg을 각각 적용하였다.

그 결과 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계 중량이 67.6kg 증가되었다. 이에 따라 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 주산물 증산액은 75,599원, 부산물 증산액은 227원이 증가되어 폐사율 감소에 의한 총편익은 75,826원으로 계측되었다.

12) 습식 공기정화시스템을 사용하지 않은 계사의 폐사율은 4.22%이며, 습식 공기정화시스템을 사용한 계사의 폐사율은 3.45%로 계측되었는데, 폐사율 감소에 따른 생산증가는 이 폐사율의 차이인 0.77%로 간주하였음.

<표 22> 육계 폐사율 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	금액 또는 물량	비 고
기초 자료	공기정화기 대당 육계 사육 수수	수	6,000	
	생육기간	일	35	
	폐사율 감소에 따른 생산 증가	%	0.77	
	육계 중량	kg	1.47	
	부산물 증산액	%	0.3	주산물 가액에서 차지하는 비중
	돈육 산지가격	원/kg	1,118	2007년 평균 산지가격
생체중 증가 편익	폐사율 감소에 따른 총중량 증가	수	46	$6,000\text{수} \times 0.77\%$
	주산물 증가액	원	75,599	$\text{생산증가 수수} \times \text{수당 중량} \times$ kg당 산지가격
	부산물 증산액	원	227	$75,599\text{원} \times 0.3\%$
	편익 총계	원	75,826	

자료 : 현지조사

다. 방역치료비 감소에 의한 편익

‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 방역치료비 감소에 의한 편익은 생체중에 의한 편익의 계측과 마찬가지로 2개 시범농장에서 조사된 자료를 이용하여 사육두수, 표준 생산비에서의 방역비, 방역치료비 감소비율 등을 계측하여 비육돈의 폐사율 감소에 의한 편익을 계측하였다(표 23).

<표 23> 방역치료비 감소에 의한 편익 산출 기초자료 및 산출액

비 목		단위	금액 또는 물량	비 고
기초 자료	공기정화기 대당 육계 사육 수	수	6,000	
	표준생산비에서의 방역비	원/수	46.4	
	방역치료비 감소추정	%	12	<표 9> 참조
생체중 증가 편익	방역치료비 감소에 따른 감소액	원	33,408	표준생산비에서의 방역비 × 방역치료비 감소비율 = (46.4원/수 × 6,000수) × 12%

자료 : 현지조사

방역치료비 감소에 의한 편익의 계측을 위한 기초자료인 <표 9>에서 공기정화시스템 대당 사육수 6,000수, 표준생산비에서의 수당 방역비 46.4원, 방역치료비 감소비율 추정 12%(<표 9> 참조)를 각각 적용하였다.

그 결과 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 방역치료비 감소에 따른 육계의 총편익은 33,408원으로 계측되었다.

라. 육계시험농장의 공기정화시스템에 의한 총편익

육계시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 편익은 총 580,202원으로 계측되었다(표 24). 공기정화시스템에 의한 추가적인 총편익의 내용은 생체중 증가에 의한 편익, 폐사율 감소에 의한 편익, 방역치료비 감소액이다.

<표 24> 육계 시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 총편익

단위 : 원

구 분		편익발생기준	증체량 및 비용감소액	비 고
생산량 증가	증체편익		470,968	
	폐사량 감소에 의한 편익		75,826	
비용 감소	방역치료비 감소에 의한 편익		33,408	
계			580,202	

5.2. 공기정화시스템의 비용 추정

5.2.1. 비육돈

가. 비용계측의 기본전제

‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 비용을 계측하기 위하여 <표 25>와 같이 기본전제를 설정하였다.

<표 25> ‘습식 공기정화시스템’에 의한 비육돈의 비용계측 기본전제

구 분	단위	수량	비고
돈사당 공기정화시스템 설치 대수	대/돈사	2	
돈사당 사육두수	두	590	
공기정화시스템 대당 사육두수	두	295	
비육돈 1두당 출하시 체중	kg/두	109.4	입식시 체중 : 35.9kg/두
입식후 사육기간	일/회	90	
연간 생산주기	회/년	2.4	
공기정화시스템 내용연수	년	8	

나. 항목별 비용계측

감가상각비는 ‘습식 공기정화시스템’의 취득원가와 설치비를 반영하는 비목으로 다음과 같이 산출하였다.

- 비육돈 감가상각비/회 = 감가상각액 ÷ 생산주기
= 1,045,250원 ÷ 2.4회 = 435,521원
- 비육돈 감가상각비/회/두 = 감가상각액 ÷ 공기정화 대당 사육두수 ÷ 생산주기
= 1,045,250원 ÷ 295두 ÷ 2.4회 = 1,476원

수도광열비는 주로 전력사용료로서 다음과 같이 산출하였다.

- 수도광열비/회 = 기본료 + (전력사용량 × 전력량요금)

$$= 1,070\text{원} + (2,343.6\text{KW} \times 36.40\text{원/KW}) = 86,377\text{원}$$

수선비는 다음과 같이 산출하였다.

- 수선비/년 : 취득원가의 0.5%
 $= 9,180,000\text{원} \times 0.5\% = 45,900\text{원}$
- 수선비/회 : 연간수선비 ÷ 생산주기
 $= 45,900\text{원} \div 2.4\text{회} = 19,125\text{원}$

제재료비는 다음과 같이 산출하였다.

- 제재료비/년 : 취득원가의 0.5%
 $= 9,180,000\text{원} \times 0.5\% = 45,900\text{원}$
- 제재료비/회 : 연간수선비 ÷ 생산주기
 $= 45,900\text{원} \div 2.4\text{회} = 19,125\text{원}$

노력비는 다음과 같이 산출하였다.

- 습식 공기정화시스템 가동 1일당 공기정화시스템 운전 노동 10분 소요
- 공기정화시스템 운전 추가노동 소요시간/회 = 습식 공기정화시스템 가동 1일당 공기정화시스템 운전 노동 소요시간 × 사육기간
 $= 10\text{분} \times 90\text{일} = 900\text{분}$
- 1분당 임금 : 129.5원/분
- 추가노력비(운전인건비)/회 = 추가노동소요시간 × 임금
 $= 900\text{분} \times 129.5\text{원} = 116,550\text{원}$

고정자본이자는 다음과 같이 산출하였다.

- 공기정화시스템 구입비 : 9,180,000원
- 이자율 : 5%/년
- 고정자본이자/회 = (공기정화시스템 구입비 × 이자율) ÷ 내용년수 ÷ 생산주기
 $= (9,180,000\text{원} \times 5\%) \div 8\text{년} \div 2.4\text{회} = 23,906\text{원}$

유동자본이자는 다음과 같이 산출하였다.

- 유동자본이자/회 = [추가경영비(감가상각비, 수도광열비, 수리비, 제재료비, 노력비) × 이자율] ÷ 생산주기
 $= (435,521\text{원} + 86,377\text{원} + 19,125\text{원} + 19,125\text{원} + 116,550\text{원}) \times 5\% \div 2.4\text{회}$
 $= 14,098\text{원}$

다. 비육돈시험농장의 공기정화시스템에 의한 총비용

비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 추가비용은 총 714,702원으로 계측되었다(표 26). 추가적인 총비용은 감가상각비, 수도광열비, 수리비, 제재료비, 노력비, 고정자본이자, 유동자본이자이다.

<표 26> 비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 총비용

단위 : 원

비용발생기준		금액 기준	비 고
구 분			
감가상각	감가상각비(대농구)	435,521	
기계 유지관리	수도광열비	86,377	
	수선비	19,125	
	제재료비	19,125	
	노력비	116,550	
자본이자	고정자본이자	23,906	
	유동자본이자	14,098	
계		714,702	

5.2.2. 육계

가. 비용계측의 기본전제

‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 비용을 계측하기 위하여 <표 27>과 같이 기본전제를 설정하였다.

<표 27> ‘습식 공기정화시스템’에 의한 육계의 비용계측 기본전제

구 분	단위	수량	비고
계사당 공기정화시스템 설치 대수	대/계사	2	
계사당 사육수수	수	6,090	
육계 1수당 출하시 체중	kg/수	1.47	입식시 체중 : 41g/수
입식후 사육기간	일/회	35	
연간 생산주기	회/년	5	
공기정화시스템 내용연수	년	8	

나. 항목별 비용

감가상각비는 '습식 공기정화시스템'의 취득원가와 설치비를 반영하는 비목으로 다음과 같이 산출하였다.

- 육계 감가상각비/회 = 감가상각액 ÷ 생산주기
= 1,045,250원 ÷ 5회 = 209,050원
- 비육돈 감가상각비/회/두 = 감가상각액 ÷ 공기정화 대당 사육두수 ÷ 생산주기
= 1,045,250원 ÷ 6,000수 ÷ 5회 = 35.0원

수도광열비는 주로 전력사용료로서 다음과 같이 산출하였다.

- 수도광열비/회 = 기본료 + (전력사용량 × 전력량요금)
= 1,070원 + (911.4KW × 36.40원/KW) = 34,245원

수선비는 다음과 같이 산출하였다.

- 수선비/년 : 취득원가의 0.5%
= 9,180,000원 × 0.5% = 45,900원
- 수선비/회 : 연간수선비 ÷ 생산주기
= 45,900원 ÷ 5회 = 9,180원

제재료비는 다음과 같이 산출하였다.

- 제재료비/년 : 취득원가의 0.5%
= 9,180,000원 × 0.5% = 45,900원
- 제재료비/회 : 연간수선비 ÷ 생산주기
= 45,900원 ÷ 5회 = 9,180원

노력비는 다음과 같이 산출하였다.

- 습식 공기정화시스템 가동 1일당 공기정화시스템 운전 노동 10분 소요
- 공기정화시스템 운전 추가노동 소요시간/회 = 습식 공기정화시스템 가동 1일당 공기정화시스템 운전 노동 소요시간 × 사육기간
= 10분 × 35일 = 350분
- 1분당 임금 : 129.5원/분
- 추가노력비(운전인건비)/회 = 추가노동소요시간 × 임금
= 350분 × 129.5원 = 45,325원

고정자본이자는 다음과 같이 산출하였다.

- 공기정화시스템 구입비 : 9,180,000원
- 이자율 : 5%/년
- 고정자본이자/회 = (공기정화시스템 구입비 × 이자율) ÷ 내용년수 ÷ 생산주기
= (9,180,000원 × 5%) ÷ 8년 ÷ 5회 = 11,475원

유동자본이자는 다음과 같이 산출하였다.

- 유동자본이자/회 = [추가경영비(감가상각비, 수도광열비, 수리비, 제재료비, 노력비) × 이자율] ÷ 생산주기
= (209,050원 + 34,245원 + 9,180원 + 9,180원 + 45,325원) × 5% ÷ 5회
= 3,070원

다. 육계시험농장의 공기정화시스템에 의한 총비용

육계 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 추가비용은 총 321,525원으로 계측되었다(표 28). 추가적인 총비용은 감가상각비, 수도광열비, 수리비, 제재료비, 노력비, 고정자본이자, 유동자본이자이다.

<표 28> 육계 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 총비용

단위 : 원

비용발생기준		금액 기준	비 고
구 분			
감가상각	감가상각비(대농구)	209,050	
기계 유지관리	수도광열비	34,245	
	수선비	9,180	
	제재료비	9,180	
	노력비	45,325	
자본이자	고정자본이자	11,475	
	유동자본이자	3,070	
계		321,525	

5.3. 공기정화시스템의 경제성 계측

5.3.1. 분석모형

이 연구에서 ‘습식 공기정화시스템’의 경제성분석은 편익-비용비율법(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)을 이용하여 계측하였다. 앞에서 순현재가치분석법(NPW)을 제시하였지만, BC ratio는 순현재가치를 산출하여 분석하는 지표이다. 그러므로 BC ratio 지표를 산출하면 NPW 지표는 분석할 필요가 없기 때문이다. 편익-비용비율법

(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)의 계측모형은 앞의 식 (1)을 이용하였다.

$$BC\ ratio = \frac{\sum_{n=0}^N \frac{B_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}}$$

단, B_n : n 차 년도에 발생하는 편익

C_n : n 차 년도에 발생하는 비용

r : 할인율

5.3.2. 경제성 계측

가. 비육돈

비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 추가편익은 총 4,581,266원, 비육돈시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 추가비용은 총 714,702원으로 각각 계측되었다.

비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’ 편익-비용비율(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)을 계측하면 다음과 같다.

$$B = B_n / (1+r)^n = (4,581,266 \times 8 \times 2.4) / (1 + 0.05)^8 = 56,895,412\text{원}$$

$$C = C_n / (1+r)^n = (714,702 \times 8 \times 2.4) / (1 + 0.05)^8 = 8,875,989\text{원}$$

$$B/C\ ratio = 56,895,412 / 8,875,989 = 6.41$$

BC ratio분석법에서는 투자사업으로 부터 미래에 발생할 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 비교하여 투자안의 경제적 타당성을 평가한다.

비육돈 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’ 시험분석의 결과에 의하여 계측된 BC ratio는 6.41로 계측되었다. 따라서 BC ratio가 1보다 크게 때문에 축사용 습식 공기정화시스템은 경제성이 있다고 평가할 수 있다.

나. 육계

육계 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’에 의한 1회당 추가편익은 총 580,202원, 육계 시험농장의 공기정화시스템에 의한 1회당 추가비용은 총 321,525원으로 각각 계측되었다.

육계 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’ 편익-비용비율(Benefit-Cost Ratio : BC ratio)을 계측하면 다음과 같다.

$$B = B_n / (1+r)^n = (580,202 \times 8 \times 5) / (1 + 0.05)^8 = 15,011,695\text{원}$$

$$C = C_n / (1+r)^n = (321,525 \times 8 \times 5) / (1 + 0.05)^8 = 8,318,887\text{원}$$

$$B/C \text{ ratio} = 15,011,695\text{원} / 8,318,887\text{원} = 1.80$$

BC ratio 분석법에서는 투자사업으로 부터 미래에 발생할 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 비교하여 투자안의 경제적 타당성을 평가한다.

육계 시험농장의 ‘습식 공기정화시스템’ 시험분석의 결과에 의하여 계측된 BC ratio 는 1.80으로 계측되었다. 따라서 BC ratio가 1보다 크게 때문에 축사용 습식 공기정화시스템은 경제성이 있다고 평가할 수 있다.

6. 개발된 기술의 실용화 가능성 진단

공기정화기는 실내의 오염물질을 제거하는 장치로서 공기청정기라고 불리어 진다. 이러한 공기정화기는 미국의 ASHRAE STD에서는 “건물 내부의 공기조화를 위한 환기와 제순환공기의 정화를 위한 장치”로, 한국 산업규격 KS C 9314(1994) 및 일본 산업규격 JIS C 9615(1976)에서는 “주로 일반가정, 사무실 등에 설치하여 공기 중에 부유하는 분진을 포집 또는 이와 병행하여 가스제거를 위하여 사용되는 송풍기 내장의 장치로 한다”라고 규정하고 있다.¹³⁾

공기정화기는 1970년대 이후 에너지 위기에 대한 대처를 위한 건물에서의 에너지 절약과 실내 환경의 개선을 위하여 많은 노력과 더불어 발전하여 왔다. 과거에는 공기정화기를 실내에서 인체로부터 방출된 오염물질만을 제어하는 방법의 하나로 취급하였다. 그러나 현재의 공기정화기는 건물의 내부에서 발생하는 각종 오염물질의 방출특성이 매우 중요한 사항으로 부각되어 새로운 개념의 공기정화기준이 제시되고 있다. 뿐만 아니라 현재는 실내공기에 있는 오염물질의 농도를 낮게 유지하기 위하여 건축자재의 선정과 실내 공기정화기술의 적용범위까지도 고려하고 있다.

한국과 같이 빠르게 산업화된 나라에서는 공기오염이 선진국 보다 매우 심각한 상태이다. 그러나 공기정화기에 대한 연구는 아직까지 선진국에 비하여 기초 기술이 미흡하고, 생산기술이 뒤떨어져 독자적인 기술개발이 낮은 수준이다. 이러한 현상은 국내시장의 내수규모가 외국에 비해 상대적으로 작기 때문에 독자적인 연구개발보다는 외국 업체와의 기술제휴를 선호하였기 때문이다. 그리고 가스상의 물질에 대한 제거기능, 살균기능, 탈취기능 등에 대한 성능평가 기준도 현재 마련되어 있지 않기 때문에 객관적인 성능평가가 어렵다.¹⁴⁾

실내 환경에 대한 관심 증대는 공기정화기의 수요를 증가시켰으며, 반도체 산업의 발달은 공기청정 시스템의 집진효율에 대한 연구를 진행시켰다. 이는 1990년대부터 정부의 정책적인 지원으로 공기정화기에 대한 기술확보에 착수하여 부유입자, 가스, 냄새 제어를 위한 각종 필터를 개발하여 공기정화기, 클린룸 설비에 적용시키고 있다. 현재 공기정화기술은 반도체 산업의 발달에 따른 클린룸 설비가 선도하고 있다. 그러나 공기정화의 핵심기술은 거의 외국기술에 의존하고 있는 실정으로, 고성능 필터개발, 국부 초청정장치, 공기중 입자계측기, 공기이온화 시스템, 초청정 클린룸 시스템 등의 기술개발이 요구되고 있다.¹⁵⁾

13) 한국과학기술정보연구원, 2002, 「공기정화기」.

14) 한국과학기술정보연구원, 2002, 「공기정화기」.

15) 한국과학기술정보연구원, 2002, 「공기정화기」.

이 연구는 ‘습식 공기정화시스템’을 축사에 활용하고 자 하는 연구로서, 현재 한국의 여건에서는 매우 앞서가는 연구이다. 이 연구에서 ‘습식 공기정화시스템’ 기술을 축사에 적용하였을 경우의 경제성을 분석한 결과 경제성이 높은 것으로 계측되었다. ‘습식 공기정화시스템’의 사용에 대한 편익비용비율(BC ratio)을 계측한 결과, 비육돈의 BC ratio는 6.41로 매우 높게 나타났으며, 육계의 BC ratio도 1.80으로 산출되어 경제성이 충분히 있는 것으로 평가되었다.

이 연구에서 이루어진 공기정화시스템 기술은 앞으로 축산업의 생산성 증대에 크게 기여할 것이 확실하다고 생각한다. 따라서 공기정화시스템 기술을 축산농가에 보다 많이 보급하기 위하여 실용화 하여야 할 것으로 판단한다.

참고문헌

- 국립농산물품질관리원. 2006. 「축산물생산비」 .
- 국립수의과학검역원. 2005-06. 「가축전염발생월보」 .
- _____ . 2006. 「06 2/4분기 가축전염병증양예찰협의회 자료」 .
- 김혜영, 김태균. 2003. “육류 수요 체계의 내생성과 구조 변화.” 「농촌경제 26(3)」 .
한국농촌경제연구원
- 노인순. 2005. “돼지 쉰코바이러스 2형에 의한 이유후전신소모성증후군의 국내발생조사 및 병원성 시험 연구.” 강원대학교 박사학위논문.
- 농림부. 2001. 「2001년 가축방역사업계획 및 실시요령」 .
- _____ . 2006. 「가축질병진단 및 질병감정과정」 .
- _____ . 2006. “2006년 가축방역사업 계획 및 실시요령.”
- 농림부(사)대한양돈협회. 2004. 「2003 전업규모 양돈농가 경영실태 조사결과」 .
- 농촌진흥청. 2003. 「가축위생과 질병(돼지 질병편)」 .
- 농협중앙회. 2006. 「축산물 가격 및 수급계획」 .
- _____ . 2006. 12. 「축산물가격정보」 .
- 대한양돈협회. 2006. 「2005년도 전국 양돈장 질병 실태조사 보고서」 .
- _____ . 2006. 「2005 전업 양돈농가 경영 실태조사」 .
- 박경운, 유한상, 김선중. 1998. “국내 추백리 발생역학 및 감염계로부터 분리한 salmonella pullorum의 특성.” 「대한수의학회지」 .
- 박남용 등. 1993. “돼지 유행성 설사 바이러스의 분리동정.” 「대한수의학회지」 .
- 박최규 등. 1999. “돼지 생식기호흡기증후군 바이러스의 항체분포 및 역학조사.” 「대한수의학회지」 .
- 송주호, 신승열, 김철민. 2004. 「미국 BSE 발생 이후 쇠고기 소비변화 분석」 . 한국농촌경제연구원. 정책연구보고 P71.
- 송주호, 우병준, 허덕, 박선일. 2006. 11. 「가축질병의 경제적 영향분석」 . 한국농촌경제연구원
- 허덕 등. 2001. 「가축 방역 시스템 강화 방안」 . 한국농촌경제연구원.
- 한국국민경제연구원, 2006. 9. 「“습식공기정화기”에 관한 예정원가보고서」 .
- 한국과학기술정보연구원, 2002, 「공기정화기」 .
- Ian M. D. Little, James A. Mirrlees, *Manual of Industrial Project Analysis in Developing Countries, Vol. II, Development Center of the Organization for Economic*

Co-operation and Development, Paris, 1968.

J. Price Gittinger, *Economic Analysis of Agricultural Projects*, 2nd. Ed., The Economic Development Institute of the World Bank, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1982.

Richard D. Aplin, George L. Casler, *Capital Investment Analysis*, Grid, Inc., Columbus, 1973.

<부 표>

<부표 1> 습식 공기정화시스템 재료비 집계표(2007)

단위 : 원

구 분	금 액	비 고
직접재료비	5,887,655	
간접재료비	5,712	
합 계	5,893,367	

주 : 1. 조사대상 기종 : 습식 공기정화시스템 JP-6500 형식 1식을 기준
2. 가격기준 : 2007년 기준가격으로 부가가치세를 제외한 금액
3. 직접재료비 : <부표 2> 참조
자료 : 중앙기술산업(주)

<부표 2> 습식 공기정화시스템 직접재료비 산출표(2007)

단위 : 원

번호	구분	규격	수량	단위	단가	금액	비고		
1	하부케이스 철판	1200*680*915							
		967*1640	54	kg	1,175	63,450	시중물가지		
		1225*1965	75	kg	1,175	85,775	시중물가지		
		1040*1965	54	kg	1,175	63,450	시중물가지		
		320*1938	36	kg	1,175	42,300	시중물가지		
		1270*2080	38	kg	1,175	44,650	시중물가지		
2	상부케이스 철판(SUS304)	1200*680*780							
		1.6T*840*450	4	EA	47,060	188,240	시중물가지		
		1.6T*520*450	4	EA	44,460	177,840	시중물가지		
		1.6T*840*450	4	EA	47,060	188,240	시중물가지		
		3.2T*130*850	2	EA	83,200	166,400	시중물가지		
	평철(SUS304)	12.50T*1.2T*100	3	EA	34,840	104,520	시중물가지		
		150*100*28T	3	EA	56,680	170,040	시중물가지		
3	주요자재	무화대통	1	조	988,000	988,000			
		흡입링	1	EA	234,000	234,000			
		집수호퍼(FRP)	1	EA	100,000	100,000			
		하부구조	1	EA	142,000	142,000			
		원심채모터	2	EA	58,000	116,000			
		송풍모터	2	EA	152,000	304,000			
		자동펌프	3	EA	50,000	150,000			
		세척솔	8	EA	20,000	160,000			
		기어드모타	8	EA	15,000	120,000			
		수위조절기	1	조	69,000	69,000			
		먼지포집망	1	조	63,200	63,200			
		안전망	4	EA	20,000	80,000			
		리미트 S/W	2	EA	12,000	24,000			
		오존살균기	1	식	700,000	700,000			
		콘트롤판넬	1	조	512,000	512,000	시중물가지		
		송풍날개	2	EA	100,000	200,000			
		원심무화체	2	EA	65,000	130,000			
		토출그릴	2	조	165,000	330,000			
		중니벨	1	EA	700	700	시중물가지		
		서비스엘보	3	EA	2,760	8,280	시중물가지		
		볼밸브	1	EA	3,040	3,040	시중물가지		
		단니벨	3	EA	340	1,020	시중물가지		
		원터치니벨	2	EA	1,170	2,340	시중물가지		
				PC15*12	1	EA	850	850	시중물가지
				PC15*10	3	EA	800	2,400	시중물가지
		PL15*10	1	EA	1,110	1,110	시중물가지		

주 : 1. 조사대상機種 : 습식 공기정화시스템 JP-6500 형식 1척을 기준
 2. 가격기준 : 2007년 기준가격으로 부가가치세를 제외한 금액
 자료 : 중앙기술산업(주)

<부표 2> (계 속)

단위 : 원

번호	구 분	규 격	수량	단위	단 가	금 액	비 고
	연결핀		1	EA	800	800	시중물가지
		PCF*1/4*10	3	EA	1,550	4,650	시중물가지
		PLF*1/4*10	8	EA	1,360	10,880	시중물가지
	링		2	EA	700	1,400	시중물가지
	볼트	6*15	108	EA	180	19,440	시중물가지
		4*16	50	EA	25	1,250	시중물가지
		PT15*10	1	EA	1,860	1,860	시중물가지
	링넛벨	9.5*1/4	5	EA	450	2,250	시중물가지
	이정엘보	20*15	4	EA	350	1,400	시중물가지
	이정T	20*15	1	EA	550	550	시중물가지
	탱크소켓	15A	2	EA	1,500	3,000	시중물가지
	호스넛벨	15A*20	4	EA	640	2,560	시중물가지
	PY	15*10	1	EA	2,730	2,730	시중물가지
	레누산	20*15	3	EA	350	1,050	시중물가지
	산소발생기	3W	1	EA	15,000	15,000	시중물가지
	물통	20 L	1	EA	10,000	10,000	시중물가지
		10 L	1	EA	5,000	5,000	시중물가지
	플렉시블호스	100L	2	EA	3,000	6,000	시중물가지
	단니벨	15A	2	EA	300	600	시중물가지
	T	15A*15A	1	EA	3950	390	시중물가지
	스티커		5	EA	10,000	50,000	시중물가지
	계					5,887,655	

주 : 1. 조사대상 기준 : 습식 공기정화시스템 JP-6500 형식 1식을 기준
 2. 가격기준 : 2007년 기준가격으로 부가가치세를 제외한 금액
 자료 : 중앙기술산업(주)

III. 습식 공기정화시스템의 효율적 운용을 위한 돈사의 환기분석 연구

Ventilation study of pighouse for effective application of a developed
wet air cleaner

협동연구기관명 : 서울대학교
협동연구책임자 : 이 인 복
연 구 원 : 황 현 섭
연 구 원 : 홍 세 운
연 구 원 : 서 일 환
연 구 원 : 이 성 용

요 약 문

I. 제 목

습식 공기정화시스템의 효율적 운용을 위한 돈사의 환기분석 연구
(Ventilation study of pigg house for effective application of a developed wet air cleaner)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

축산물의 생산력 증대와 가격 경쟁력 제고를 위하여 돈사 시설의 대형화와 밀집화가 나타나고 있다. 하지만 이러한 밀집 사육에서는 돈사 내의 먼지, 병원성 또는 비병원성 미생물, 유해가스, 수분 등의 오염물질이 과도하게 집적하게 되며, 이로 인하여 가축의 질병 면역력이 약화되고 질병에 의한 생산력 감소가 나타나게 된다. 이에 따라 다양한 질병 대책을 시도하고 있지만 여전히 돼지의 폐사율은 10% 정도에서 감소 현상을 보이지 않고 있으며, 오히려 농림부에 따르면 2006년 8월 12.5%까지 상승하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 다양한 질병에 대한 대책마련이 시급하지만, 보다 근본적으로 노후화된 시설에서 야기되는 먼지, 유해가스 등의 사육환경을 개선할 필요가 있다.

암모니아 가스와 먼지 등의 공기 중 유해성분은 가축의 생산성을 감소시킬 뿐만 아니라 작업자의 건강을 해치고 작업환경을 악화시키게 된다. 따라서 축사 내에는 악취가스, 부유먼지, 열과 습도 등이 축적되지 않도록 적당한 환기를 유지하여야 하나, 최소 환기량을 유지하여야 하는 동절기의 경우, 축사 내의 먼지와 암모니아가스의 농도가 기준치 이상으로 높아지는 경우가 많아 다른 대책을 강구하여야 한다. 하지만, 동절기의 돈사에서는 환기를 통하여 이를 해결할 수 없고, 또한 이러한 유해 성분의 발생량 자체를 감소시키기는 어려우므로, 축사 내의 공기 질을 개선할 수 있는 부가적인 장비의 제작이 적당한 대안이 될 수 있다. 이에 따라 축사에서 발생하는 암모니아 가스, 먼지 등을 제거하고 축사 내 공기를 정화시켜 깨끗한 공기를 가축에게 제공해 주어 가축의 생산성 향상 및 작업자의 작업환경을 개선시키기 위한 습식공기정화기를 개발하였다. 본 연구의 습식공기정화기는 기존 산업용처럼 고비용의 필터를 교체하지 않는 기술적인 특성을 지니고 있으며, 또한 흡입된 실내공기가 미세한 물 필터를 통과하게 되므로 동절기에 난방으로 인해 건조해진 실내 공기의 습도를 유지할 수 있는 장점이 있다. 또한 시설 내부의 유해가스 및 분진을 저감시킴으로써 시설 내의 가축의 폐사율

및 각종 질병을 억제시키며, 인근 지역의 악취를 저감시키고 민원 발생 소지를 줄일 수 있는 가능성을 제시한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 CFD 시뮬레이션을 이용하여 습식 공기정화기의 성능을 향상시키기 위한 돈사 내 적정 위치를 모색하고, 습식 공기정화 시스템이 돈사 내의 기후 분포에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 또한 CFD 시뮬레이션을 이용한 연구에 앞서 현장 실험을 통하여 CFD 시뮬레이션 모델의 정확도를 향상시키기 위하여 노력하였다. 동절기의 최소 환기상태 하에서 이러한 공기정화기의 성능을 극대화시키기 위해서는 기존의 환기시스템에 대한 분석 및 기존 환기시스템과 공기정화기의 상호작용, 공기정화기의 적정 위치에 대한 연구가 반드시 동반되어야 한다. 환기 시스템에 따른 돈사 내의 공기 유동장과 온도, 습도 등의 기후 인자들의 분포를 측정하고 정성적 및 정량적으로 분석하여야 하며, 공기정화시스템의 도입으로 인하여 변화된 내부 기후 분포를 정량적인 상관관계로 분석하여야 한다. 또한 한정된 수의 공기정화기의 위치를 다양하게 변화시키면서 그에 따른 적정 시스템을 규명하여야 한다. 하지만 연구자가 기상조건과 시설구조를 인위적으로 바꾸어 가면서 다양한 실험을 하는 것은 매우 불가능하다. 특히 눈에 보이지 않는 공기를 대상으로 하는 환기연구에 있어서 외부기상, 내부설정환경, 사육동물, 기간별 에너지 부하 등과 관련하여 복합적으로 연구가 진행되는 경우, 현장실험은 많은 비용과 노력 및 시간이 요구되는 한계를 가지고 있다. 이러한 현장실험의 한계를 극복하기 위하여 현장실험과 함께 공기유동해석 등의 공학적 기술을 이용할 수 있다. 최근 다양한 유동해석에서 많이 사용되고 있는 전산유체역학 기술은 환기작용의 주 메커니즘인 공기의 유동현상을 임의의 환경 조건 하에서 다양하고 정확하게 모의할 수 있고, 많은 양의 정량적인 데이터를 확보할 수 있어 널리 사용되고 있는 방법이다. 시뮬레이션 접근을 이용하여 다양한 시스템에 대하여 충분한 비교 및 검증을 통한 체계적인 농업시설 개발을 수행할 수 있으며, 충분한 검증을 통하여 시설 내부의 기후를 체계적이고 정확하게 분석할 수 있다. 또한 이를 통하여 습식 공기 정화 시스템과 축사 기후에 관한 적정 시스템을 도출하고, 불필요한 시행착오를 없애 투자 실패를 예방할 수 있을 것이다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

현장실험과 공기유동학적 시뮬레이션을 수행하여 습식공기정화기의 위치 및 배기 방향에 따른 효율성을 세 군데의 실험돈사에 대하여 각각 비교하였다. 각 돈사에서 습식공기정화기의 성능을 상대적으로 비교하기 위하여 안정된 상태에서 3분 동안 가동한

것으로 가정하여 수행한 시뮬레이션 결과를 각 돈사별로 비교하였다. 돈사 A의 경우 습식공기정화기를 설치한 Case 4와 같이 유입구에서 유출구 쪽으로 정화된 공기를 배출시키는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 이 경우 폭방향 환기 효율성을 극대화 하기 때문에 기존의 편차를 약 1.33배 향상시킬 수 있었다. 또한 Case 2와 같이 농도가 높은 공기를 한 곳으로 집중시키는 유동장의 경우 암모니아 가스의 절대적인 수치를 감소시키는 데에 가장 효과적인 것으로 나타났으며 이 경우 습식공기정화기의 효율성이 15.3%로 다른 구조들 보다 약 2배 정도의 성능을 보였다. 돈사 A의 경우 습식공기정화기를 설치함으로써 돈방에서 약 3.5%의 암모니아 제거 효과를 나타냈으며, 돈사 B에서는 약 4%의 효과를 나타내었다. 돈사 B에서는 돈군을 대상으로 하였을 때, Case 4의 암모니아 제거 효과가 약 3.9% 로 가장 높아 Case 2 와 비교하여 약 0.7% 더 높은 성능을 발휘할 수 있었던 것으로 나타났다. 이는 Case 4의 경우 돈사의 중앙에서 길이방향으로 정화된 공기를 배출하는 구조를 가지고 있으며 이 중앙 부분은 기본적인 환기량이 높은 부분이기 때문에 정화 능력이 더 크게 작용했던 것으로 판단된다. 돈사 C에서는 돈군을 대상으로 하였을 때, 습식공기정화기를 길이방향으로 배치하여 정화된 공기가 한쪽 방향으로 흐르게 설치한 Case 4에서의 암모니아 제거 효과가 가장 높은 것으로 나타났다. Case 4는 습식공기정화기를 설치하지 않은 경우와 비교하여 암모니아 제거 효과는 약 5.7% 향상되었으며 환기량은 약 24.6% 증가하는 결과를 보였다. 그러나 습식공기정화기가 한쪽 길이방향으로 작동하기 때문에 정화의 효과가 닿지 않는 부분이 생겨 암모니아 농도의 균일성은 약 16.9%, 온도의 균일성은 약 14.1% 떨어지는 결과를 보였다. 반면 두 대의 습식공기정화기를 폭방향으로 설치한 Case 5의 경우 유동장이 돈사 전체에 고르게 영향을 미쳐 Case 4에 비하여 암모니아 제거 효율은 1% 떨어지는 반면 온도 균일성은 11.4%, 암모니아 농도의 균일성은 14.3% 향상되는 결과를 보였다. 따라서 암모니아 제거 능력만을 고려하였을 때는 Case 4가 균일성 측면에서는 Case 5가 가장 효과적인 배치로 판단된다.

현장실험을 통한 습식공기정화기의 성능 분석 결과 암모니아의 제거 효과는 약 11%로 높은 효율을 보이지 못하는 것으로 판단된다. 또한 유입구에서 공기가 일부 배출되고 유출구를 통하여 공기가 일부 유입되는 등 구조적인 안정성 문제로 인하여 설계한 성능이 제대로 발휘되지 못한 것으로 판단된다. 습식공기정화기는 물을 이용하기 때문에 동절기 상대 습도가 낮은 돈사에서는 오히려 내부 습도의 안정성을 향상시키는데 도움이 되나 하절기나 상대 습도가 높은 돈사에서 사용할 경우 내부 습도가 지나치게 높아질 위험이 있으며 증발 잠열로 인하여 온도를 계속 낮추는 영향을 주므로 온도가 낮은 돈사에서는 온도의 적정성에 문제를 야기할 위험이 있을 것으로 판단된다. 시뮬레이션을 통하여 정화 공기가 배출되면서 설치된 위치 및 방향에 따라 내부의 유동장에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 기계의 성능을 효과적으로 발휘할 수 있도록 구조적인 문제점을 해결하고 효과적인 배치를 판단하기 위하여 본 연구와 같이 공기유동학적 시뮬레이션을 통한 안정성 및 효율성을 분석하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

SUMMARY

(영문요약문)

Livestock houses are getting larger and denser to increase their productivity and save their labor cost. In the large livestock house, there are a lot of contaminants including noxious gas and dust particles. It affects animals to reduce their immunity and productivity. Therefore it is urgent to enhance the environmental condition in the livestock house. Ammonia gas and dust particles seriously affect the productivity of livestock house and working environment. Though a suitable ventilation is needed to remove these contaminants in the livestock house, it is difficult to maintain an enough ventilation rates in the cold season because it makes an internal air temperature be low dramatically. In this situation, development of an additional machine is an alternative plan to enhance the internal environmental condition. To remove the contaminants of the internal air in the livestock house wet air cleaner was already developed and used in some pig houses recently. To maximize the ability of this wet air cleaner with minimum ventilation rates in cold season it is necessary to find out the problems of existing pig house, the interaction between ventilation system of the pig house and wet air cleaner, and appropriate position of the wet air cleaner. However, conducting only field experiment has limitation because of following reasons; a lot of cost, time, and man power. To complement these limitation of the field experiment, computation fluid dynamics (CFD) simulation was used in this research. 3-dimensional CFD simulation can calculate the effect of invisible air flow of main mechanism of ventilation with various environmental conditions. And it is possible to obtain a lot of quantitative and qualitative data at a short time comparing with field experiment. In this research, appropriate positions and exhausting direction of the wet air cleaner were studied according to the three different pig house using field experiment data and CFD simulation results. The results shows that the appropriate position of the wet air cleaner is very important to enhance their ability to remove contaminants with comparison of uniformity of ventilation efficiency and temperature at each cases.

CONTENTS

제 1 장	Profile of research and development	104
제 2 장	Internal and external technical development present condition	106
제 3 장	Contents and result of study achievement	107
제 1 절	Materials and Methods	107
제 2 절	Experimental Methods	116
제 3 절	Result and Discussion	133
제 4 절	Conclusion	219
제 4 장	The object achievement contribution to a relevant subject area	221
제 5 장	Planning to use of research and development	224
제 6 장	Reference	224

Table contents

Table 1	General specification of Hobo sensor	111
Table 2	General specification of PAC III	112
Table 3	Specifications of Raytek MX4 Infrared Non-contact Thermometer	113
Table 4	Specification of Multi-Channel anemomaster	114
Table 5	Structural configuration and ventilation system of pig house A, B and C	120
Table 6	Input data for verification of CFD model	127
Table 7	Temperature differences between 1-2 point and the other points. The positive values mean those temperatures are higher than that of 1-2 point. STD means a standard deviation. (Unit : °C)	136
Table 8	Humidity differences between 1-2 point and the other points. The negative values mean those humidity are lower than that of 1-2 point. STD means a standard deviation. (Unit : %)	138
Table 9	Surface temperatures measured by infrared gun	139
Table 10	Computational domain using Gambit	145
Table 11	Temperature of field experiment and simulation models by steps at the same locations installed the sensors.	152

Table 12	Decrease of internal air temperature at the whole area and pig zone in pig house B (unit : °C)	196
Table 13	Decrease of ammonia concentration at the whole area and pig zone in pig house B (unit : ppm)	197
Table 14	Sectional ventilation rates of each cases in pighouse B (Unit : AER)	197
Table 15	Decrease of internal air temperature at the whole area and pig zone in pig house B (unit : °C)	218
Table 16	Decrease of ammonia concentration at the whole area and pig zone in pig house B (unit : ppm)	218
Table 17	Sectional ventilation rates of each cases in pig house B	219

Figure contents

Fig. 1	Flow chart of CFD simulation with Fluent and Gambit	107
Fig. 2	Hobo sensor (Onset Corp, Southern MA, USA) for measuring temperature and humidity	111
Fig. 3	Ammonia gas detector(Dräger, Germany)	112
Fig. 4	Infrared gun to measure a temperature of a surface	113
Fig. 5	Multi-Channel Anemomaster (Kanomax, System 4243)	114
Fig. 6	The exterior of pig house A	117
Fig. 7	Suction ducts for negative pressure ventilating system in the pig house	117
Fig. 8	External wall and inlet section	117
Fig. 9	Ventilation systems of pig house by the seasons	118
Fig. 10	A plane Figure of pig house and locations of sensors installed (An exit is located at the left side toward the north)	118
Fig. 11	Installation method of Hobo sensor	119
Fig. 12	Installation method of Hobo sensor outside the pig house	119
Fig. 13	ConFiguration of pig room, duct fan and feed tubs	120
Fig. 14	Exhausting duct with fan at pig house A	121
Fig. 15	Pipe inlet system at pig house A	121
Fig. 16	Pig house A with one wet air cleaner	122
Fig. 17	Winch curtain at side wall at pig house B	122
Fig. 18	Inside of pig house B and measuring situation	123

Fig. 19	Measurement of a surface temperature using RAYNGER	124
Fig. 20	Experiment of efficiency of wet air cleaner at pig house A	124
Fig. 21	Experiment of efficiency of wet air cleaner at pig house B	125
Fig. 22	Location and direction of machines for analysis and comparison of the effect to remove noxious gas and dust	129
Fig. 23	Location and direction of machines for analysis and comparison of the effect to remove noxious gas and dust at the pig house A	130
Fig. 24	Location and direction of machines for analysis and comparison of the effect to remove noxious gas and dust at the pig house B	132
Fig. 25	Sketches of air-purification device	133
Fig. 26	Temperature variations at measuring points and outdoor	134
Fig. 27	A gap in a door causing inexpectant air-infiltration	134
Fig. 28	Powerless pigs near the indoor	135
Fig. 29	Lively pigs in the middle of pig house	135
Fig. 30	Temperature differences between 1-2 point and the other points. Bars mean the average values and bold lines indicate the range of standard deviation.	136
Fig. 31	Humidity variations at measuring points and outdoor	137
Fig. 32	Humidity differences between 1-2 point and the other points. Bars mean the average values and bold lines indicate the range of standard deviation.	138
Fig. 33	Variations of Ammonia concentration near the floor of pig-room with two Ammonia sensors at about 13:20.	140
Fig. 34	Change of ammonia concentration at the inlet and outlet of wet air cleaner according to the measuring time	141
Fig. 35	Change of air temperature at the inlet and outlet of wet air cleaner according to the measuring time	142
Fig. 36	Change of air relative humidity at the inlet and outlet of wet air cleaner according to the measuring time	142
Fig. 37	Direction of air flow at the inlet (up) and outlet (down) of wet air cleaner	143
Fig. 38	Volume sections of CFD simulation model for meshes in pig house using Gambit ver 2.3.30	144
Fig. 39	Simplifying process of pig model	147
Fig. 40	CFD simulation model of whole pig house A	148

Fig. 41	Example of CFD simulation model with pigs	148
Fig. 42	Whole CFD simulation model of pig house B	149
Fig. 43	Design of pig, feed tub and pipe in the CFD simulation at pig house B	149
Fig. 44	Whole CFD simulation model of pig house C	150
Fig. 45	CFD simulation model inside of the pig house C	150
Fig. 46	Comparison between temperatures of the field experiment and that of the simulations at the same locations installed sensors ; the upper Figure represented point 1-1 to 1-5 and the lower one point 2-1 to 2-5	153
Fig. 47	Contours of temperature at the sensor zone (the lower Figures, at the 1.2m height) and the pig zone (the upper Figures, at the 0.5m height); The black color represented a tendency that changed the temperature inside the pig house.	155
Fig. 48	Ideal air flow of pig-house	157
Fig. 49	Real air flow of pig-house by the CFD simulation	157
Fig. 50	Temperature distribution according to the height in Case 0	159
Fig. 51	Ammonia distribution according to the height in Case 0	160
Fig. 52	Data points of CFD simulation	160
Fig. 53	Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 0 in the direction of width	161
Fig. 54	Location and direction of wet air cleaner in case 1, pig house A	162
Fig. 55	Temperature distribution according to the height in case 1, pig house A	162
Fig. 56	Ammonia distribution according to the height in case 1, pig house A	163
Fig. 57	Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 1 in the direction of width, pig house A	164
Fig. 58	Location and direction of wet air cleaner in case 2, pig house A	164
Fig. 59	Temperature distribution according to the height in case 2, pig house A	165
Fig. 60	Ammonia distribution according to the height in case 2, pig house A	166
Fig. 61	Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 2 in the direction of width, pig house A	167
Fig. 62	Location and direction of wet air cleaner in case 3, pig house A	167

Fig. 63 Temperature distribution according to the height in Case 3, pig house A	168
Fig. 64 Ammonia distribution according to the height in Case 3, pig house A	169
Fig. 65 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 3 in the direction of width, pig house A	169
Fig. 66 Location and direction of wet air cleaner in case 4, pig house A	170
Fig. 67 Temperature distribution according to the height in Case 4, pig house A	171
Fig. 68 Ammonia distribution according to the height in case 4, pig house A	171
Fig. 69 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 4 in the direction of width, pig house A	172
Fig. 70 Location and direction of wet air cleaner in case 5, pig house A, pig house A	173
Fig. 71 Temperature distribution according to the height in case 5, pig house A	173
Fig. 72 Ammonia distribution according to the height in case 5, pig house A	174
Fig. 73 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 5 in the direction of width, pig house A	175
Fig. 74 Location and direction of wet air cleaner in case 6, pig house A	175
Fig. 75 Temperature distribution according to the height in case 6, pig house A	176
Fig. 76 Ammonia distribution according to the height in case 6, pig house A	177
Fig. 77 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 6 in the direction of width, pig house A	177
Fig. 78 Location and direction of wet air cleaner in case 1(without cleaner), pig house B	179
Fig. 79 Air flow at 1.8m height(machine zone) in case 1, pig house B	179
Fig. 80 Temperature distribution according to the height in case 1, pig house B	180
Fig. 81 Ammonia distribution according to the height in case 1, pig house B	181

Fig. 82 Dilution of ammonia concentration at each section in case 1, Pig house B	182
Fig. 83 Location and direction of wet air cleaner in case 2, pig house B	182
Fig. 84 Air flow at machine zone in case 2, pig house B	182
Fig. 85 Temperature distribution according to the height in case 2, pig house B	183
Fig. 86 Ammonia distribution according to the height in case 2, pig house B	184
Fig. 87 Dilution of ammonia concentration at each section in case 2, Pig house B	185
Fig. 88 Location and direction of wet air cleaner in case 3, pig house B	185
Fig. 89 Air flow at machine zone in case 3, pig house B	185
Fig. 90 Temperature distribution according to the height in case 3	186
Fig. 91 Ammonia distribution according to the height in case 3, pig house B	187
Fig. 92 Dilution of ammonia concentration at each section in case 3, Pig house B	187
Fig. 93 Location and direction of wet air cleaner in case 4, pig house B	188
Fig. 94 Air flow at machine zone in case 4, pig house B	188
Fig. 95 Temperature distribution according to the height in case 4, pig house B	189
Fig. 96 Ammonia distribution according to the height in case 4, pig house B	189
Fig. 97 Dilution of ammonia concentration at each section in case 4, Pig house B	190
Fig. 98 Location and direction of wet air cleaner in case 5, pig house B	190
Fig. 99 Air flow at machine zone in case 5, pig house B	191
Fig. 100 Temperature distribution according to the height in case 5, pig house B	191
Fig. 101 Ammonia distribution according to the height in case 5, pig house B	192
Fig. 102 Dilution of ammonia concentration at each section in case 5, Pig house B	193
Fig. 103 Location and direction of wet air cleaner in case 6, pig house B	193
Fig. 104 Air flow at machine zone in case 6, pig house B	193

Fig. 105 Temperature distribution according to the height in case 6, pig house B	194
Fig. 106 Ammonia distribution according to the height in case 6, pig house B	195
Fig. 107 Dilution of ammonia concentration at each section in case 6, pig house B	195
Fig. 108 Location and direction of wet air cleaner in case 1, pig house C ...	198
Fig. 109 Air flow at machine zone in case 1, pig house C	199
Fig. 110 Temperature distribution according to the height in case 1, pig house C	200
Fig. 111 Ammonia distribution according to the height in case 1, pig house C	201
Fig. 112 Dilution of ammonia concentration at each section in case 1, pig house C	202
Fig. 113 Location and direction of wet air cleaner in case 2, pig house C ...	202
Fig. 114 Air flow at machine zone in case 2, pig house C	202
Fig. 115 Temperature distribution according to the height in case 2, pig house C	203
Fig. 116 Ammonia distribution according to the height in case 2, pig house C	204
Fig. 117 Dilution of ammonia concentration at each section in case 2, pig house C	205
Fig. 118 Location and direction of wet air cleaner in case 3, pig house C ...	205
Fig. 119 Air flow at machine zone in case 3, pig house C	205
그림 120 Temperature distribution according to the height in case 3, pig house C	206
Fig. 121 Ammonia distribution according to the height in case 3, pig house C	207
Fig. 122 Dilution of ammonia concentration at each section in case 3, pig house C	208
Fig. 123 Location and direction of wet air cleaner in case 4, pig house C	208
Fig. 124 Air flow at machine zone in case 4, pig house C	208
Fig. 125 Temperature distribution according to the height in case 4,	

pig house C	209
Fig. 126 Ammonia distribution according to the height in case 4, pig house C	210
Fig. 127 Dilution of ammonia concentration at each section in case 4, pig house C	211
Fig. 128 Location and direction of wet air cleaner in case 5, pig house C ..	211
Fig. 129 Air flow at machine zone in case 5, pig house C	211
Fig. 130 Temperature distribution according to the height in case 5, pig house C	212
Fig. 131 Ammonia distribution according to the height in case 5, pig house C	213
Fig. 132 Dilution of ammonia concentration at each section in case 5, pig house C	214
Fig. 133 Location and direction of wet air cleaner in case 6, pig house C ..	214
Fig. 134 Air flow at machine zone in case 6, pig house C	214
Fig. 135 Temperature distribution according to the height in case 6, pig house C	215
Fig. 136 Ammonia distribution according to the height in case 6, pig house C	216
Fig. 137 Dilution of ammonia concentration at each section in case 6, pig house C	217

제 1 장 연구개발과제의 개요

현재 축산물의 생산력 증대와 가격 경쟁력 제고를 위하여 돈사 시설의 대형화와 밀집화가 나타나고 있다. 하지만 이러한 밀집 사육에서는 돈사 내의 먼지, 병원성 또는 비병원성 미생물, 유해가스, 수분 등의 오염물질이 과도하게 집적하게 되며, 이로 인하여 가축의 질병 면역력이 약화되고 질병에 의한 생산력 감소가 나타나게 된다. 이에 따라 다양한 질병 대책을 시도하고 있지만 여전히 돼지의 폐사율은 10% 정도에서 감소 현상을 보이지 않고 있으며, 오히려 농림부에 따르면 2006년 8월 12.5%까지 상승하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 다양한 질병에 대한 대책마련이 시급하지만, 보다 근본적으로 노후화된 시설에서 야기되는 먼지, 유해가스 등의 사육환경을 개선할 필요가 있다.

특히 돈사 내부의 먼지는 사료, 피부박편, 털, 분변, 깔짚, 뇨, 건축자재 등에서 발생하며, 1차적인 발생뿐만 아니라 침전된 먼지가 재차 부유되면서 문제가 발생하게 된다. 연구에 따라 차이는 있지만, 보통 축사에서는 $1.5 \sim 26.1 \text{ mg/m}^3$ 으로 높은 농도를 보이며, 비육돈사에서는 이중 약 80%가 $0.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 크기의 미세먼지에 해당하여 가축 및 인체의 호흡기에 문제를 야기 시킬 수 있는 것으로 나타나 있다. 분진의 농도는 시설 내의 보온성을 증대시키는 동절기에 특히 높아지며, 이러한 분진 내에는 바이러스, 세균 등의 미생물과 유해가스 등이 함유되어 있어 가축 질병의 매개체 역할을 하게 되며, 작업자의 호흡기 장애를 유발하기도 한다. 또한 축산 악취를 발생하는 성분들이 먼지에 흡착되어 주변으로 전파하므로, 악취 발생의 매개체 역할을 하기도 한다.

암모니아 가스는 돈사의 피트에서 돈분이 혐기성 발효로 인해 분해되면서 생성되는 가스로, 돈사의 대표적인 유해가스 중의 하나이다. 암모니아 가스의 유해성에 관해서는 이미 국내외에서 활발히 연구되어 왔으며, Curtis 등(1974), Doig 등(1971)에 따르면 암모니아 가스의 농도가 100ppm을 넘어서면 돼지의 사료소비와 1일 체중 증가량이 감소된다고 보고하였고, 어린 돼지의 경우에는 대기 중 암모니아 가스 농도가 50ppm 일때도 1일 체중 증가량의 감소가 나타난다고 보고하였다. 또한은 어린 돼지의 경우 대기 중 암모니아 가스 농도가 50~75ppm 일 때 폐 박테리아를 제거하는 능력이 감소되어 폐렴에 걸리기 쉬워진다고 보고하였다. 51~71ppm의 암모니아가 존재하는 곳에서는 약 4%의 열 발생이 감소하여 이는 환경 온도 20℃에서의 활동 저하의 요인이 된다. 또한 먼지와 혼합되어 있을 때 식욕을 현저히 감소시킨다는 연구 결과도 나타나 있다. 암모니아 가스는 관리자의 건강에도 큰 영향을 미치게 되는데 기체상태가 아닌 암모니아는 먼지 입자에 흡착되어 폐의 심부에까지 도달하게 되며, 고농도 수준의 암모니아 가스는 두통, 구토, 식욕저하 등의 증상이 있고, 고농도의 암모니아 가스를 장시간 흡입하게 되면 상부 기도에 있는 점액이나 이물질을 제거하는 선모에 손상을 주게 된다는 연구결과가 있다(방 등, 1998).

이렇게 암모니아 가스와 먼지 등의 공기 중 유해성분은 가축의 생산성을 감소시킬 뿐만 아니라 작업자의 건강을 해치고 작업환경을 악화시키게 된다. 따라서 축사 내에는 악취가스, 부유먼지, 열과 습도 등이 축적되지 않도록 적당한 환기를 유지하여야 하나, 최소 환기량을 유지하여야 하는 동절기의 경우, 축사 내의 먼지와 암모니아가스의 농도가 기준치 이상으로 높아지는 경우가 많아 다른 대책을 강구하여야 한다. 하지만, 동절기의 돈사에서는 환기를 통하여 이를 해결할 수 없고, 또한 이러한 유해 성분의 발생량 자체를 감소시키기는 어려우므로, 축사 내의 공기 질을 개선할 수 있는 부가적인 장비의 제작이 적당한 대안이 될 수 있다. 이에 따라 축사에서 발생하는 암모니아 가스, 먼지 등을 제거하고 축사 내 공기를 정화시켜 깨끗한 공기를 가축에게 제공해 주어 가축의 생산성 향상 및 작업자의 작업환경을 개선시키기 위한 습식 공기정화기를 개발하였다. 본 연구의 습식 공기정화기는 기존 산업용처럼 고비용의 필터를 교체하지 않는 기술적인 특성을 지니고 있으며, 또한 흡입된 실내공기가 미세한 물 필터를 통과하게 되므로 동절기에 난방으로 인해 건조해진 실내 공기의 습도를 유지할 수 있는 장점이 있다. 또한 시설 내부의 유해가스 및 분진을 저감시킴으로써 시설 내의 가축의 폐사율 및 각종 질병을 억제시키며, 인근 지역의 악취를 저감시키고 민원 발생 소지를 줄일 수 있는 가능성을 제시한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

동절기의 최소 환기상태 하에서 이러한 공기정화기의 성능을 극대화시키기 위해서는 기존의 환기시스템에 대한 분석 및 기존 환기시스템과 공기정화기의 상호작용, 공기정화기의 적정 위치에 대한 연구가 반드시 동반되어야 한다. 환기 시스템에 따른 돈사 내의 공기 유동장과 온도, 습도 등의 기후 인자들의 분포를 측정하고 정성적 및 정량적으로 분석하여야 하며, 공기정화시스템의 도입으로 인하여 변화된 내부 기후 분포를 정량적인 상관관계로 분석하여야 한다. 또한 한정된 수의 공기정화기의 위치를 다양하게 변화시키면서 그에 따른 적정 시스템을 규명하여야 한다. 하지만 연구자가 기상조건과 시설구조를 인위적으로 바꾸어 가면서 다양한 실험을 하는 것은 매우 불가능하다. 특히 눈에 보이지 않는 공기를 대상으로 하는 환기연구에 있어서 외부기상, 내부설정 환경, 사육동물, 기간별 에너지 부하 등과 연관하여 복합적으로 연구가 진행되는 경우, 현장실험은 많은 비용과 노력 및 시간이 요구되는 한계를 가지고 있다. 이러한 현장실험의 한계를 극복하기 위하여 현장실험과 함께 공기유동해석 등의 공학적 기술을 이용할 수 있다. 최근 다양한 유동해석에서 많이 사용되고 있는 전산유체역학 기술은 환기 작용의 주 메커니즘인 공기의 유동현상을 임의의 환경 조건 하에서 다양하고 정확하게 모의할 수 있고, 많은 양의 정량적인 데이터를 확보할 수 있어 널리 사용되고 있는 방법이다. Harral et al. (1997), Bjerg et al. (2002), Lee et al. (2002), Sun et al. (2002, 2004) 등은 축산 시설 내에서의 환기 작용 및 공기 유동을 예측하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 사용한 바 있으며, 최근에는 시설 내에서의 열과 물질 이동 등의 현상을 고려한 시뮬레이션에 관심이 모아지고 있다(Norton et al., 2007). 이러한 시뮬레이션 접근을 이용하여 다양한 시스템에 대하여 충분한 비교 및 검증을 통한 체계적인 농업시설 개발을 수행할 수 있으며, 충분한 검증을 통하여 시설 내부의 기후를 체계적이고 정확하게 분석할 수 있다. 또한 이를 통하여 습식 공기 정화시스템과 축사 기후에 관한 적정 시스템을 도출하고, 불필요한 시행착오를 없애 투자실패를 예방할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 CFD 시뮬레이션을 이용하여 습식 공기정화기의 성능을 향상시키기 위한 돈사 내 적정 위치를 모색하고, 습식 공기정화 시스템이 돈사 내의 기후 분포에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 또한 CFD 시뮬레이션을 이용한 연구에 앞서 현장 실험을 통하여 CFD 시뮬레이션 모델의 정확도를 향상시키기 위하여 노력하였다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 재료 및 방법

1. 시뮬레이션 툴

시뮬레이션 툴은 크게 모델을 만들고 격자를 설계하는 Pre-processing 과정과 계산 영역 (Computational domain)을 바탕으로 공기 유동학적 계산을 수행하는 Main-solver로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 3D-Max, CAD 등의 프로그램을 통하여 나타낸 돈사의 기본 구조와 실제 돼지 모형을 전산유체역학 (Computational fluid dynamics)의 Pre-processing 툴인 Gambit을 사용하여 격자망 모델을 설계하였으며, 완성된 모델은 Main-solver인 Fluent를 사용하여 계산을 수행하였다. 계산에 사용된 환경 조건들은 온습도 센서, 암모니아 측정기, 표면온도계 등을 사용하여 현장에서 측정하였으며, 측정할 수 없는 값들은 관련 문헌들을 참고하여 이론적인 수치를 사용하였다. CFD 시뮬레이션의 기본적인 흐름은 그림 1과 같으며, 위에 언급한 툴 이외에 부수적으로 결과 해석 등을 위하여 Ensight(Ver.8.0, CEI Inc., USA) post-processing 툴 등을 활용하였다.

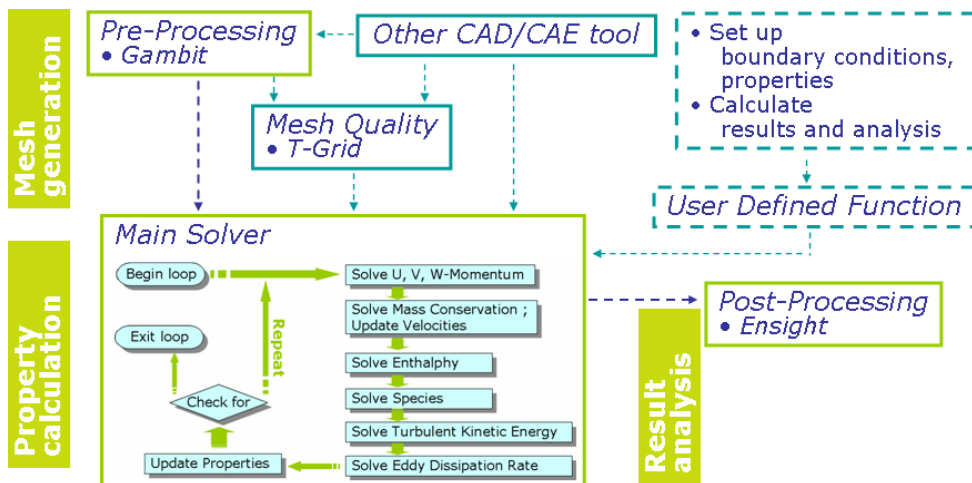


Fig. 1 Flow chart of CFD simulation with Fluent and Gambit

본 연구에서는 전산유체역학의 Pre-processor로서 Fluent Inc.의 Gambit (ver. 2.3, Fluent Inc., N.H., USA)을 사용하여 격자망 모델을 설계하였다. 이 프로그램은 GUI

(Graphical user interface)를 기반으로 하여 기본적인 외형과 격자망을 형성하고 Boundary Condition의 지정 등에 사용된다. 관심 영역을 3차원의 부피를 가지는 모델로 설계한 후 내부에 돈방과 덕트, 환기시설 등과 같은 세부 구조를 만들어 이를 Gambit을 사용하여 시뮬레이션을 위한 유한개의 3차원 격자망을 구성한다. Gambit의 장점은 육면체 또는 사면체의 격자를 형성할 때, 복잡한 지형에서 격자 크기와 모양 등이 부드럽게 이어지도록 적절한 수준의 격자크기 비율을 조절할 수 있는데 있다. 또한 유체의 유동문제 해결능력의 향상을 위하여 2차원의 평면, 선 대칭형, 회전 대칭 모델과 3차원의 모델 등에 대하여 삼각형, 사각형, 6면체, 4면체, 프리즘형, 피라미드형, 혼합형 등의 다양한 격자 설계 방법을 제공하여 격자를 유연하게 설계하도록 도와준다. 격자는 시뮬레이션의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이므로 설계 시 그 형태가 안정적이어야 한다. 이를 판단하기 위하여 각 격자들의 뒤틀린 정도를 식(1)과 같이 Equiangle skew 공식을 통하여 살펴봄으로써 격자 설계의 완성도를 판단할 수 있다.

$$Q_{EAS} = \max \left[\frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right] \quad (1)$$

여기서, θ_{\max} 는 면이나 격자의 가장 큰 각, θ_{\min} 은 면이나 격자의 가장 작은 각, θ_e 는 면이나 격자의 등각 (삼각형의 경우 60도, 사각형의 경우 90도)을 나타낸다. 이번 시뮬레이션에는 6면체와 4면체를 혼합하여 사용하였으며, Equiangle skew 공식에 의한 뒤틀림 정도(Q_{EAS})가 6면체의 경우 0.85를 넘지 않아야 하며, 4면체의 경우 0.9를 넘지 않아야 한다. 이 경우 결과의 데이터를 믿을 만한 것으로 판단한다(Fluent user's guide, 2005).

Main-module 로써 사용되는 Fluent (ver. 6.3, Fluent Inc., N.H., USA)는 세계적으로 널리 상용되고 있는 CFD solver software로서 전 산업에서 광범위하게 적용되고 있으며, 최근 자동차, 항공우주 산업, 화학과정의 설명, 동력 생산을 위한 기계 장비, 생물학, HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), 전기 공학 등에서 널리 사용되고 있다. Fluent는 C 언어를 기반으로 만들어졌으며 동적인 메모리 할당과 효율적인 데이터 구조와 유연한 계산 제어를 가능하게 제작된 CFD 기반의 컴퓨터 모델링 및 분석 툴이다. 또한 client/server 구조를 사용하여 여러 대의 Computer를 사용하여 동시에 작업을 수행할 수 있다. Fluent는 계산 영역내의 모든 격자들에 대하여 Navier-Stokes 방정식의 Reynolds 이론의 개념을 계산하는 CFD(Computational fluid dynamics) 기술을 사용한다. 유체 및 에너지의 이동현상의 해석에 필요한 방정식은 질량, 운동량, 에너지 보존법칙을 미소의 체적에 적용하여 얻어진 비선형 연립 편

미분방정식이다. 각각을 정리하면 아래와 같다.

$$\text{질량} \quad : \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = S_m \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \text{운동량} \quad : \\ & \frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \vec{v} v_i) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho \vec{g} + \vec{F} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{에너지} \quad : \\ & \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{u}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\tau_{eff} \cdot \vec{u})) + S_h \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 ρ 는 밀도, \vec{u} 는 속도, p 는 정압, S_m 는 화학반응에 의한 질량 Source 항, τ 는 응력 텐서, \vec{g} 는 중력, \vec{F} 는 external body force, k_{eff} 는 effective conductivity, \vec{J}_j 는 diffusion flux of species j , T 는 온도, S_h 는 화학반응이나 복사에 의한 엔탈피 증가이다.

CFD 시뮬레이션의 현실성을 높이고 정확도를 향상시키기 위해서는 난류 현상을 충분히 고려하여야 한다. 난류의 영향에 대한 계산을 위하여 속도장의 변동을 고려해야 하지만 이러한 변동은 그 규모가 너무 작거나 frequency가 높은 경우에 직접적으로 시뮬레이션 하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 시간을 반영한 지배식을 사용하여 시간이나 총체적인 평균 등을 고려한 공식의 조절을 통하여 작은 규모나 높은 빈도의 변동을 제거함으로써 공학적으로 실용적인 계산이 될 수 있도록 수식들을 수정하였다. 그러나 이같이 수정된 식의 경우 알려지지 않은 부분에 관한 변수들을 포함하게 되므로 이러한 변수들을 어떠한 상수로서 결정하기 위하여 난류 모델이 필요하다. 현재, 모든 종류의 문제에 대해 포괄적으로 사용할 수 있는 단일한 난류 모델은 존재하지 않는다. 따라서 각 모델에서의 물리적인 특성과 문제의 특성, 요구되는 정확도의 정도, 시뮬레이션에 소요되는 시간 등을 고려하여 난류 모델을 결정해야 한다. 주로 사용되는 모델은 Standard $k-\varepsilon$ 모델, RNG $k-\varepsilon$ 모델, Realizable $k-\varepsilon$ 모델 등이

있는데 이 같은 모델은 유사한 형태를 가지고 있으나 난류 점성의 계산 방법, k 와 ε 의 난류 확산을 지배하는 난류 Prandtl 수, ε 공식에서의 생성과 소멸에 관계된 항에서 차이가 있다. 하지만 부력에 의한 난류의 생성과 산출, 압축성에 의한 효과와 열, 질량 전달의 모델링은 공통적으로 가지고 있다.

이번 연구에서 사용된 난류 모델은 RNG $k-\varepsilon$ model 이다. Lee et al.(2005) 은 축산 시설등을 대상으로 한 풍동 실험을 통하여 현재 공기 유동 문제 해석에 가장 높은 신뢰도를 가진 PIV (Particle image velocimeter) 실험의 결과와 전산유체역학 시뮬레이션 결과와의 비교 결과 RNG $k-\varepsilon$ model이 가장 높은 신뢰도를 가지는 것을 보였다. 이 모델은 Renormalization group methods 이라는 수학적 기술을 사용하여 시간에 따른 Navier-Stokes 방정식에서부터 유도되어 진다. 구체적인 수송방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) \\ = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, G_k 는 평균 속도 경사장에 의한 난류 동적 에너지의 생성, G_b 는 부력에 의한 난류 동적 에너지의 생성, Y_M 는 전체 확산률에서 압축성 난류의 변동하는 팽창의 정도, $\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ 는 각각 k 와 ε 의 난류 Prandtl 수, $\alpha_k, \alpha_\varepsilon, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ 는 상수이다.

2. 현장 실험 장비

시뮬레이션은 현장 실험의 어려움을 극복하고 이를 보완하기 위한 방법이므로 현장 실험을 통하여 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하는 작업은 반드시 수반되어야 하는 중요한 과정이다. 본 연구에서는 온습도 센서, 암모니아 측정기, 적외선 표면 온도계, 다채널 풍속계 등을 사용하여 돈사의 내부와 외부의 시간에 따른 온도와 습도의 변화,

내부의 암모니아 농도와 각 벽체 및 폐지의 표면의 온도, 덕트의 유속 등을 측정하였다.

실험 기간 동안 연속적으로 돈사 내부 및 외부의 온도와 습도를 측정하여 데이터를 얻기 위하여 Hobo 온습도 센서 (Onset Corp, Southern MA, USA)를 사용하였다. Hobo 온습도 센서는 그림 2와 같이 직경이 약 10cm 정도로 휴대 및 설치가 간편하기 때문에 현장에서 사용하기에 적합한 것으로 판단된다. 작동 환경의 설정과 데이터 정리는 BoxCar Pro(Ver.4.3, Onset computer corp., USA)를 사용하였으며 데이터 로거는 1분 간격으로 작동하도록 설정하였다.



Fig. 2 Hobo sensor (Onset Corp, Southern MA, USA) for measuring temperature and humidity

Table 1 . General specification of Hobo sensor

Relative Humidity	Range	0 to 100 % RH
	Accuracy	±3 % RH over 0 to 50°C ±4 % RH in condensing environments
Temperature	Range	-30 to 50°C
	Accuracy	±0.2 °C at 25°C
	Resolution	0.02 °C @ 25°C

돈사 내부의 암모니아 농도와 바닥의 슬릿 사이에서 올라오는 암모니아의 농도를 측정하기위하여 PAC III 암모니아 가스 측정기 (Dräger, Germany)를 사용하였다. 이 측정기는 암모니아 및 특정한 한가지 종류의 가스를 측정하여 농도를 실시간으로 체크할 수 있으며 또한 데이터 로거를 포함하고 있어 원하는 시간 간격으로 데이터를 저장할 수 있다. 또한 작업 환경 등에서 특정 가스의 농도가 설정한 허용치를 초과할 경우 경보를 울리는 기능을 가지고 있다. 데이터의 저장 간격 등의 세부적인 환경 설정은 GasVision(Ver 5.8, Dräger Safety AG&Co.KGaA) 프로그램을 사용하였으며, 10초 간격으로 데이터가 저장되도록 하였다.



Fig. 3 Ammonia gas detector(Dräger, Germany)

Table 2 General specification of PAC III

Measuring Range	Maximum : 0 to 200 ppm Minimum 0 to 50 ppm
Response time $t_{0...50}$	≤ 20 seconds at 20°C
Measurement accuracy	$\leq \pm 3$ % of measured value
Ambient conditions	-40 to 50°C temperature 10 to 90 % RH 700 to 1300 hPa
Effect of temperature	$\leq \pm 5$ % of measured value
Effect of humidity	$\leq \pm 0.2$ % of measured value/% RH

시뮬레이션의 초기 환경 조건을 설정하기 위하여 시설 내부의 각 벽체 및 구조와 폐지의 표면 온도 등을 측정하기 위하여 표면온도계 (Raynger MX4, Raytek, USA)를 사용하였다. 이 장치는 적외선의 반사를 이용한 비접촉식 온도계로써 표면에 온도센서를 접촉하기 어려운 물체에 대하여 표면 온도를 빠르고 간단하게 측정할 수 있으며, 레이저 포인트를 사용하여 정확하게 원하는 장소의 표면온도를 측정할 수 있다.



Fig. 4 Infrared gun to measure a temperature of a surface

Table 3 Specifications of Raytek MX4 Infrared Non-contact Thermometer

D:S (Distance to Spot size)	60 : 1
Temperature Range	-25 to 1600 degree F (-30 to 900 degree C)
Emissivity	adjustable
Accuracy	± 1% of MAX and MIN temperature readings

돈사 내부의 유동장에 대한 분석을 위하여 다채널 풍속계 (Kanomax, System 4243,

그림 5)를 사용하였다. 이 장치는 여러지점의 유속을 실시간으로 측정하는데 적합한 장치로써 동시에 최대 32 지점에서 동시에 측정이 가능하다. 이번 연구에서는 CFD 시뮬레이션에서 주요한 환경 조건으로 사용되는 덕트의 유량을 측정하는데 사용되었다. 현재 보유하고 있는 장비를 사용하여 3군데의 덕트를 대상으로 동시에 10 지점에서 유속을 측정하였다.



Fig. 5 Multi-Channel Anemomaster (Kanomax, System 4243)

Table 4 Specification of Multi-Channel anemomaster
(Kanomax, System 4243)

Measuring Object	Clean air flow
Measuring Range	0.1~25 m/s
Accuracy	± 0.15~0.6 m/s
Resolution	0.01m/s : 0 ~ 9.99 m/s 0.1 m/s : 10 ~ 25 m/s
Ambient Temperature	5 ~ 40 °C

3. Tracer gas decay 방법

습식 공기정화기의 성능을 비교 분석하기 위하여 Tracer gas decay 방법을 사용하여 환기 효율성을 분석하였다. 들어오는 공기와 나가는 공기의 양을 식 (7) 와 같이 산술적으로 계산하는 기존의 환기량 계산 방법으로는 내부의 환기 및 유해 가스와 분진의 정화 효과를 적절하게 분석하기가 어려웠다. 환기 및 정화 효과의 경우 내부 공기의 유동장에 많은 영향을 받으며 이는 습식 공기 정화기, 환기팬, 덕트 등의 위치 및 방향에 따라 크게 달라진다. 그러나 기존의 환기량 계산 방법은 시설 전체의 공기 유출입을 통하여 시설에 대하여 단일한 환기량을 산출하기 때문에, 지역적인 효과를 분석하는 것이 불가능하므로 Tracer gas decay 방법을 본 연구에 도입하게 되었다. Tracer gas decay 방법은 식 (8)와 같이 시간의 변화와 농도의 변화간의 관계를 사용하여 환기량을 계산하는 방법으로, 실험의 대상이 되는 공간 내부에 특정한 가스를 균일하게 채워 넣은 후 환기가 수행되는 동안의 농도의 변화를 측정함으로써 전체의 환기량은 물론 지역적인 환기, 또는 정화의 효과를 분석하는 방법이다. Tracer gas decay 방법을 현장에서 사용할 경우, 초기의 가스 농도를 균일하고 안정적으로 분포되도록 조절하는 것이 어렵고 외부의 환경적인 요소를 실험자의 임의대로 할 수 없는 어려움이 있다. 또한 점측정에 의존하기 때문에 효과적으로 분석하기가 어려웠다. 그러나 전산유체역학을 통한 CFD (Computational fluid dynamic) 시뮬레이션을 사용할 경우 초기 가스 농도와 환경적인 요소 등을 실험자의 요구에 맞게 안정적으로 설정할 수 있으며, 방대한 데이터를 통하여 다양한 분석을 도출할 수 있다는 장점이 있다.

$$AER_{conventional} = \frac{\sum v_i A_i}{V} \times 60 = \frac{\sum v_o A_o}{V} \times 60 \quad (7)$$

$$AER_{TGD} = \frac{\ln(C_0/C_t)}{t - t_0} \quad (8)$$

여기서 AER (Air Exchange Rate)은 환기량을 뜻하며, v_i 와 v_o 는 각 환기창에서의 유입과 유출 속도, A_i 와 A_o 는 유입 및 유출이 일어나는 환기창의 면적을 나타낸다. C_0 와 C_t 는 각각 t_0 와 t 시간에서의 가스 농도를 나타낸다.

제 2 절 실험 방법

돈사 내부의 온도, 습도, 암모니아의 확산 등과 같은 내부 환경조건들은 내부의 환기량과 덕트의 위치, 유입구의 위치 등과 같은 환기구조 뿐만 아니라 외부 환경 요인에 따라서 큰 영향을 받는다. 그러나 실제 현장에서는 연구자가 원하는 대로 이와 같은 환경 조건이 일정하게 유지되기가 어렵기 때문에 안정적인 환경조건에서의 암모니아의 감소 및 내부 환경의 변화를 규명하기 어렵고, 점 측정에 의존하는 측정상의 한계로 인하여 실험 대상 전체의 환경 변화나 분포 등을 효과적으로 파악하는데 어려움이 있었다. 따라서 시뮬레이션은 이와 같은 현장실험의 한계점을 보완하기에 가장 적절한 도구로 사료된다. 시뮬레이션은 환경 조건은 물론 다양한 구조를 연구자의 임의대로 손쉽게 변화시킬 수 있으며, 많은 시간과 비용과 노동력을 절약할 수 있다. 또한 방대한 분량의 결과데이터를 거의 모든 영역에 걸쳐 얻을 수 있기 때문에 정량적, 정성적인 분석이 용이한 것은 물론 다양한 Post-processing 툴들을 활용한 유동장의 가시화 등 막강한 능력을 발휘할 수 있다. 그러나 이와 같은 시뮬레이션의 정확도 및 신뢰도를 향상시키기 위하여 반드시 현장에서의 검증 실험이 필요하다. 실험 농장에서 내부 및 외부의 온도 및 습도, 암모니아의 농도 등을 측정하는 현장실험을 수행하고, 동일한 농장을 대상으로 3차원의 격자망을 구성하여 시뮬레이션 모델을 설계하였다. 완성된 시뮬레이션 모델은 현장과 동일한 환경 조건하에서 계산을 수행하였으며, 그 결과를 현장실험의 결과와 비교하는 과정을 통하여 정확도를 검증하였으며, 정확도를 향상시키기 위하여 다양한 방법을 시도하였다. 검증된 모델을 바탕으로 습식 공기 정화기의 위치에 따른 다양한 CFD 시뮬레이션을 통하여 적절한 구조 및 장치 도입 방식을 선정하고자 하였다.

1. 현장 실험

현장실험은 2006년과 2007년에 2 차례 수행하였다. 2006년에는 충청북도 충주시 살미면 문강리에 소재한 약 700두 규모의 농장에서 2006년 12월 27일에서 28일을 비롯하여 총 3차례에 걸쳐 실시하였다(그림 6). 돈사 내부의 환기는 그림 9와 같이 외벽과 지붕 사이의 측창의 흡입부를 통하여 유입된 공기가 돈사 내부를 순환한 후, 음압식 덕트를 통하여 배기되는 구조로 이루어졌다. 외부 공기가 유입되는 방향은 측창 바로 앞에 설치된 나무판을 사용하여 조절하고 있었다. 하절기의 경우 공기가 돈방으로 잘 유입될 수 있도록 아래 방향으로 유입되도록 유도하고 있으며, 동절기에는 상부의 따뜻한 공기를 효과적으로 사용하기 위하여 지붕방향으로 유도하고 있었다.



Fig. 6 The exterior of pig house A



Fig. 7 Suction ducts for negative pressure ventilating system in the pig house



Fig. 8 External wall and inlet section

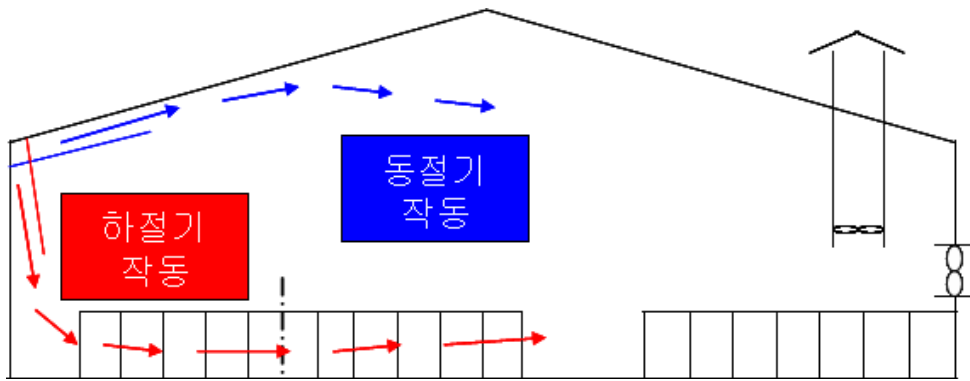


Fig. 9 Ventilation systems of pig house by the seasons

돈방은 3열로 각 열에 18개가 있으며, 서쪽 열에 덕트가 설치되어 있다. 돈사 A의 환기 문제를 분석하고, CFD 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위한 데이터를 확보하기 위하여, 시설 내부에 온도와 습도 분포를 측정하기 위하여 온습도센서(HOBO, Onset Computer Corporation, USA)를 사용하였다. 측정 지점은 좌우 출입구의 틈새에서 유입되는 차가운 외기의 영향을 최소화하기 위하여 시설 중앙부를 기준으로 좌우로 적당한 간격으로 선정하였다. 또한 온습도 센서를 돈방 내에 위치시키기 위하여 사료 급이 시설인 오우거에 철사를 이용하여 매달아 돈방 위 약 1m 지점에 고정시켰다 (그림 11).

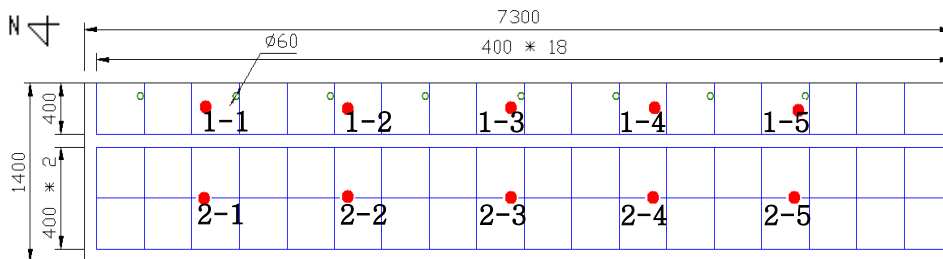


Fig. 10 A plane figure of pig house and locations of sensors installed
(An exit is located at the left side toward the north)

● : HOBOS sensors ○ : Exhaust ducts (Unit : mm)



Fig 11. Installation method of Hobo sensor



Fig. 12 Installation method of Hobo sensor outside the pig house

2007년에 수행한 현장실험은 동절기의 습식공기정화기의 효율성을 분석하기 위하여 2007년 12월 22일에 수행하였다. 충청북도 제천시 봉양읍에 소재한 약 350두 규모의 육성돈사(돈사 B)와 약 650두 규모의 비육돈사(돈사 C)에서 수행되었다. 각 돈사의 구조 및 환기 방법은 표 6에 나타내었다. 돈사 B는 그림 10과 같이 1000 mm 팬이 설치되어 있는 덕트 4개가 지붕에 지그재그 형태로 설치되어 있다. 이 배기용 덕트(그림 11)에 의하여 내부의 공기가 배출됨으로써 발생하는 음압에 의하여 그림 12와 같이 양 측벽에 설치되어 있는 파이프를 통하여 외부의 신선한 공기가 입기되는 환기 구조를 사용하고 있다. 돈사 B에는 현재 습식공기정화기가 한 대 설치되어 있다.

Table 5 Structural configuration and ventilation system of pig house A, B and C

	Pig house A (First year)	Pig house B (Second year)	Pig house C (Second year)
Structural configuration	14m width×73m length × 5.4m height	8m width×50m length ×4.7m height	15m width×50m length ×4.5m height
No. of pigs	about 700 heads	about 350 heads	about 650 heads
Ventilation system	mechanically	mechanically	naturally
Vent inlet	inlet : upper side of south wall	inlet : 50 pipes of 100 mm diameter outlet : 4 fans with 40 in diameter	about 10cm gap located at the ceiling and the upper side of side wall

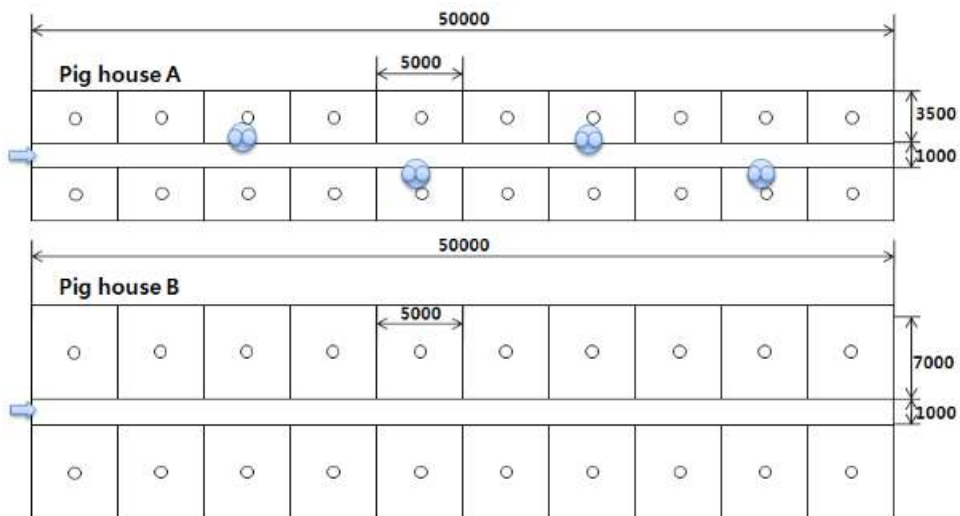


Fig. 13 Configuration of pig room, duct fan and feed tubs



Fig. 14 Exhausting duct with fan at pig house
A



Fig. 15 Pipe inlet system at pig house A



Fig. 16 Pig house A with one wet air cleaner

돈사 C는 자연 환기 식 비육 돈사로써, 하절기에는 양 측벽이 개방되어 있으며 동절기에는 양 측벽에 설치되어 있는 Rolling-up-and-down 방식의 윈치 커튼을 사용하여 보온성을 높이하고자 하였다. 측벽의 상단에 약 10cm 정도의 틈을 두고 또한 지붕 가운데의 가장 높은 부분에도 역시 약 5cm의 틈을 열어 두어 공기의 유동이 이루어질 수 있도록 유도하였다. 측벽의 경우 많은 양의 찬 공기가 유입되는 것을 방지하기 위하여 중간 중간 나무 막대를 사용하여 틈을 막아 놓았다.



Fig. 17 Winch curtain at side wall at pig house B



Fig. 18 Inside of pig house B and measuring situation

외기의 온습도 측정을 위하여 시설 외부에 온습도 센서를 추가로 설치하였으며, 일사가 직접 온습도 센서에 도달할 경우 측정값에 오차가 발생할 수 있으므로, 이를 피할 수 있는 곳에 센서를 설치하였다. 또한 모든 온습도 센서는 일정한 온습도 환경 조건 하에서 예비 실험을 통하여 측정값을 비교하여, 보정값을 결과에 반영하였다. 시설 내부 각 벽체 및 돼지의 표면 온도를 측정하기 위하여 표면온도계(RAYNGER MX4, RAYTEK, USA)를 사용하였다. 습식공기정화기의 성능을 분석하기 위하여 습식공기정화기의 유입구와 유출구에 온습도 센서 (HOBO, Onset Inc., USA)와 암모니아 가스 측정기 (PAC III, Dräger, Germany)를 사용하여 습식공기정화기에 의하여 공기가 정화되기 전후의 변화를 분석하였다.



Fig. 19 Measurement of a surface temperature using RAYNGER



Fig. 20 Experiment of efficiency of wet air cleaner at pig house A



Fig. 21 Experiment of efficiency of wet air cleaner at pig house B

2. 시뮬레이션 모델 설계

시뮬레이션 모델의 설계는 크게 모델의 구조 설계와 시뮬레이션 설계로 이루어진다. 모델의 구조 설계는 CFD 상용 프로그램인 Gambit (ver.2.3.30 Fluent Inc. New Hampsher, USA)를 사용하였다. 시뮬레이션에 사용된 돈사의 모델은 현장 견학을 통하여 측정한 치수 및 관리자의 조언을 토대로 외형을 결정하였다. 돈사 A의 폭은 14m, 전체 길이는 73m로 설계하였으며, 돈방은 18개씩 3열로 배치되어 있으며, 각 돈방은 4m × 4m로 설계하였다. 돈사 B는 8m, 전체 길이는 50m, 지붕의 최고 높이는 4.7m 로 설계하였다. 돈방은 10개씩 2열로 총 20개이다. 각 돈방은 5m × 3.5m 로 설계하였다. 돈사 C의 폭은 15m, 전체 길이는 50m, 지붕의 최고 높이는 4.5m 로 설계하였다. 각 돈사의 기본 구조 및 환기 구조는 실제와 같은 방식으로 하였고, 덕트나 배기용 팬, 사료통, 습식 공기정화기, 돼지 모형 등은 내부의 환경 요인들의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 내부 유동장을 변화시키기 때문에 세부적인 부분은 기본적인 특성을 유지하는 범위 내에서 단순화시켜 적용하였다. 돈사의 환기 구조는 동절기 사용되는 구조대로 설계하였으며, 덕트나, 배기용 팬, 출입구의 개폐 또는 작동, 습식공기정화기의 작동 여부 및 방법 등은 임의로 조절할 수 있도록 설계하였다. 습식공기정화기와 돼지 모형의 경우, 복잡한 형상을 가지고 있으므로 격자망 형성에 어려움이 있고, 형성 후에도 계산시간이 길어지는 단점이 있다. 따라서 원활한 격자망 구성과 계산 시간을 고려하여 그 구조 및 모양을 단순화 시켜 적용하였다. 격자의 구성은 계산 시간을 최대한 단축시키고, 정확도를 최대한 증가시키기 위하여 안정적인 6면체 구조를 주로 사용하였으며, 돼지가 있는 돈방의 경우 구조가 복잡하여 4면체 구조를 사용하여

격자망을 구성하였다. 또한 결과에 중요한 영향을 끼치는 유입구와 배기구, 장치 설치 부 등은 격자망을 조밀하게 하여 계산 시간을 단축시킴과 동시에 정확도를 향상시키는 구조가 되도록 설계하였다. Gambit에서 설계한 격자망 모델은 Fluent를 사용하여 초기 경계값과 환경조건, 난류 방정식 등을 적용하는 시뮬레이션 설계로 이어진다. 먼저 시뮬레이션 설계 시 다음의 가정들을 통하여 모델을 단순화하였다.

- 1) 돈사 내부에는 공기와 암모니아 이외의 가스는 없는 것으로 가정한다.
- 2) 가스나 입자등의 화학적인 반응에 의한 생성이나 응집 등은 없는 것으로 가정한다.
- 3) 환경 조건은 현장실험을 통하여 측정한 값과 참고 문헌을 통한 이론적인 값을 사용한다.
- 4) 슬러리에서 발생하는 악취 및 수분은 바닥에서 나오는 것으로 가정한다.
- 5) 돼지에게서 온도와 암모니아와 수분만이 발생하는 것으로 가정한다.
- 6) 습식 공기정화기 안으로 들어오는 공기 중에서 암모니아는 완전 제거 되는 것으로 가정한다.
- 7) 공기는 비압축성 이상기체로 가정한다.

외부 및 내부의 환경 조건은 현장 실험을 통하여 얻은 데이터를 바탕으로 하였으며, 계산의 정확도에 큰 영향을 주는 난류 모델의 경우 Lee et al.(2007)에 의하여 일반적인 축산 시설에서 가장 신뢰도가 높은 것으로 알려진 RNG $k-\epsilon$ model을 사용하였다.

3. 시뮬레이션 검증

CFD 시뮬레이션의 결과의 정확도를 향상시키기 위하여 현장실험 결과를 토대로 완성된 모델에 관한 검증을 수행하였다. 시뮬레이션 검증은 Fluent 프로그램을 사용하였으며 시간에 대한 변화를 고려하지 않는 정상상태를 가정하였다. 설정한 초기 조건은 현장실험 결과 중 오후 2시에서 3시 사이의 데이터를 토대로 하였다. 표면온도계를 사용하여 측정한 현장의 각 벽체 및 돼지의 표면 온도 데이터와 HOBO 온습도 센서를 사용하여 측정한 외기 온도 등을 초기 환경 조건으로 설정하였으며, 같은 기간의 내부 온도 데이터와의 비교를 통하여 시뮬레이션 모델의 검증을 수행하였다. 표 6은 초기 환경 조건을 나타낸 것이다.

Table 6. Input data for verification of CFD model

Contents		Values
Temperature	Each wall	288.76 °K
	Corridor	286.16 °K
	Partition for pig room	289.16 °K
	Floor	293.76 °K
	Pig	310.16 °K
	Roof	291.46 °K
	Outside of pig house	270.56 °K
Humidity	Inside of pig house	0.01736 kg/m^3
	Outside of pig house	0.00218 kg/m^3
	Floor at pig rooms	0.02006 kg/m^3

실험 돈사의 환기 시설은 음압식 환기로서 서쪽 측벽의 상단부에 폭이 약 20cm 정도 되는 유입구를 통하여 유입되는 외부 공기가 덕트의 팬을 통하여 배기되는 구조를 가지고 있다. 그러나 실제로는 양 끝벽의 출입문의 틈새를 통하여 유입되는 공기의 양이 많기 때문에 이를 충분히 고려할 필요가 있었다. 특히 양 쪽 출입문을 통하여 유입되는 공기는 돈사 전체의 온도 균일성에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 시뮬레이션의 정확도를 높이기 위하여 양 끝벽의 출입문을 다공성 매체(Porous medium)로 가정하여 공기가 일부 들어오도록 설정하였다. 다공성 매체는 기존의 유체 흐름을 구현하는 공식에 Momentum source term을 추가함으로써 구현된다. 이 Source term은 Darcy의 공식에 의한 Viscous loss term과 Inertial loss term 두 개의 부분으로 구성되어 있다. 이 Source term은 유체의 압력장에 영향을 미쳐 각 Cell에 유속에 비례하는 압력의 저하를 생성하여 감소된 유량이 흐르도록 유도한다.

$$S_i = - \left(\sum_{j=1}^3 D_{ij} \mu v_j + \sum_{j=1}^3 C_{ij} \frac{1}{2} \rho v_{mag} v_j \right) \quad (9)$$

여기서, S_i 는 i 번째 모멘텀 공식의 source term, D 와 C는 계산을 위한 Matrix 이다. 이 Porous media 의 상관 계수에 대한 기존 연구는 거의 이루어지지 않았으며 또한 현장에서의 값을 정량적으로 분석하는 것은 불가능하다. 따라서 이 수치를 임의적으로 변화시켜 현장실험의 결과와 유사한 값을 갖도록 하여 모델의 정확도를 향상시키고자 하였다.

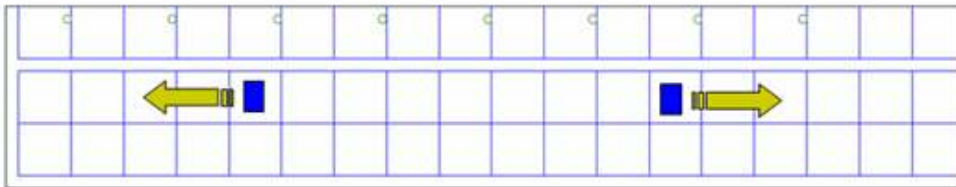
4. 습식 공기정화기의 적정위치선정을 위한 시뮬레이션

검증된 CFD 시뮬레이션 모델을 사용하여 습식 공기정화기가 효과적으로 사용될 수 있는 위치 및 방향 등을 결정하기 위하여 그림 22, 23, 24과 같이 돈사 A 와 돈사 B 와 돈사 C에 대하여 습식공기정화기가 설치되어 있지 않았을 경우를 포함하여 습식공기정화기 사용 여부 및 설치 방향에 따른 기본 모델을 선정하여 이들의 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 각 구조는 습식공기정화기의 성능을 극대화 할 수 있도록 습식 공기정화기의 위치를 공학적 관점에서 추정하였다. 각 돈사 별로 습식 공기정화기의 위치 및 방향에 따른 효율성을 비교 분석하기 위하여 암모니아 가스를 대상으로 하여 Tracer gas decay 방법을 사용하여 환기 효율성을 분석하였으며 추가적으로 온도와 습도 요인의 적정성, 안정성, 균일성에 대하여 분석하였다.

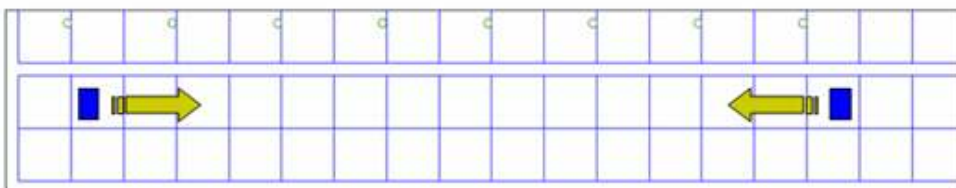
Case. 1



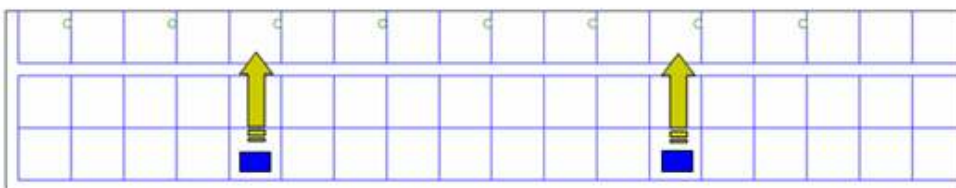
Case. 2



Case. 3



Case. 4



Case. 5



Case. 6

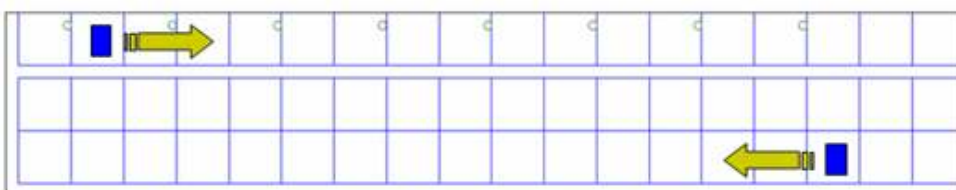
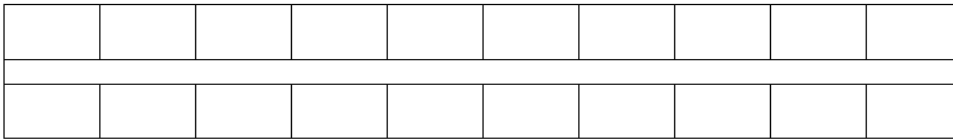
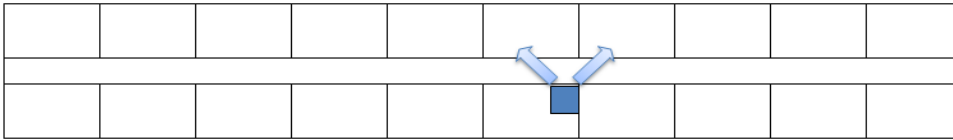


Fig. 22 Location and direction of machines for analysis and comparison of the effect to remove noxious gas and dust

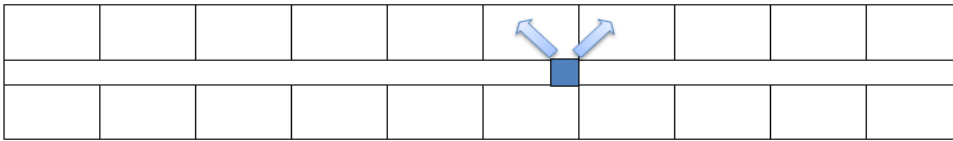
Case 1



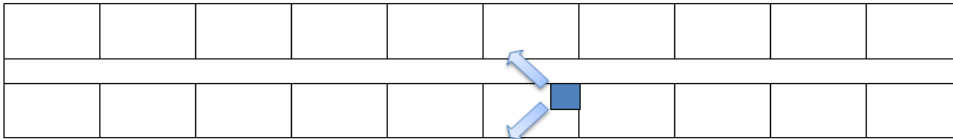
Case 2



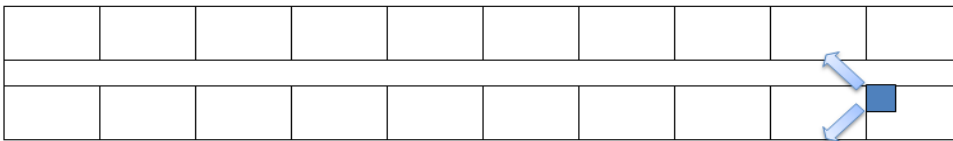
Case 3



Case 4



Case 5



Case 6

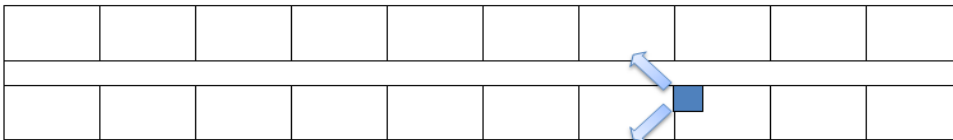
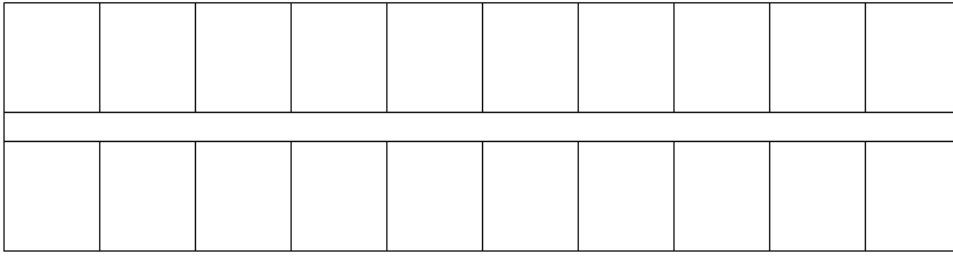
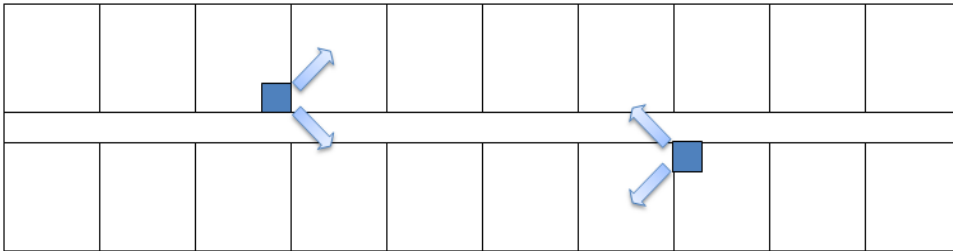


Fig. 23 Location and direction of machines for analysis and comparison of the effect to remove noxious gas and dust at the pig house A

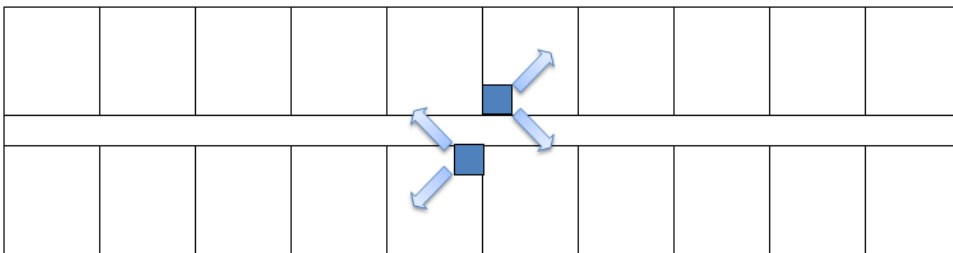
Case 1



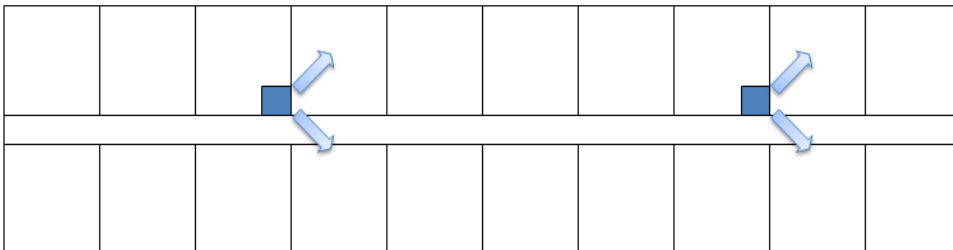
Case 2



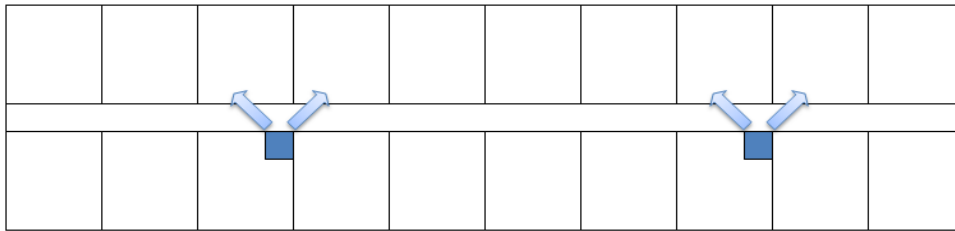
Case 3



Case 4



Case 5



Case 6

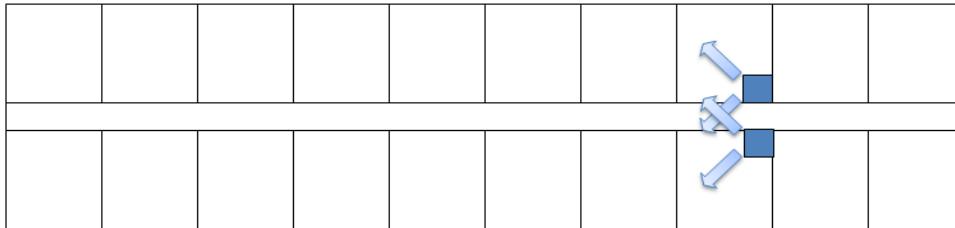


Fig. 24 Location and direction of machines for analysis and comparison of the effect to remove noxious gas and dust at the pig house B

시뮬레이션 상의 편의를 위하여 습식 공기정화기는 모두 직육면체로 가정하였으며, 상층부에서 유입되는 공기의 유량과 같은 양을 그림 22~24의 화살표와 같은 방향으로 배출하는 것으로 설계하였다. 또한 실제로 설치되어 있는 습식 공기정화기에서 나오는 공기는 45도 각도를 가지고 두 방향으로 분출되도록 설계되어 있다. 따라서 시뮬레이션에서는 유출구로 지정한 면을 둘로 나누어 각각 45도의 각도로 공기가 나오도록 설계하여 실제와 같은 환기구조적 효과를 나타낼 수 있도록 CFD 모델을 설계하였다. CFD 모델에서 습식공기정화기의 성능은 현장실험을 통하여 측정한 암모니아 농도 데이터 및 온습도 데이터를 바탕으로 하여 설계하였다.

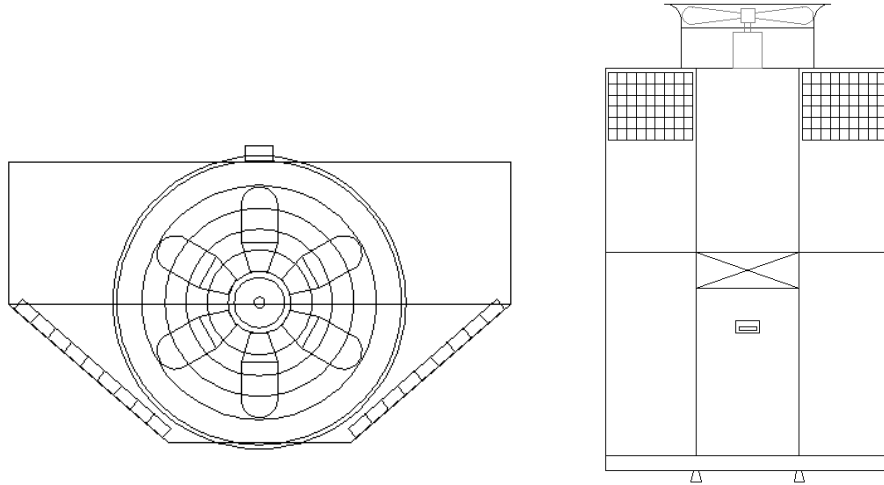


Fig. 25 Sketches of air-purification device

제 3 절 결과 및 고찰

1. 현장실험 결과

돈사의 환기 구조적 문제 분석 및 CFD 시뮬레이션 모델의 검증데이터 확보등을 위하여 2006년 12월 27일~12월 28일 동안 돈사 A에서 현장실험을 수행하였다. 또한 2007년 12월 22일 부터는 습식공기정화기의 성능 분석을 위하여 돈사 B와 돈사 C에서 현장실험을 수행하였다.

가. 2006년 돈사 A 현장실험 결과

현장실험은 27일 14시~28일 9시 사이에 수행되었다. 측정시간 동안 외기 온도는 7.0~ -5.8℃의 분포를 보이며 꾸준히 감소하는 경향을 보였다. 시설 내부의 온도는 27일 16시 경에 17.9~21.8℃로 최대 온도를 보였으며, 이후 외부온도와 같이 꾸준히 감소하여 28일 오전에 10.6~16.8℃로 최저 온도를 나타냈다. 위치별 온도는 전체적으로 1-x 지점들이 18.1℃로 15.8℃인 2-x 지점들보다 2.3℃ 높게 나타났으며, x-1, x-2, x-3, x-4, x-5 지점이 각각 15.2, 16.6, 18.0, 18.2, 16.9℃로 출입구 옆에 있는 x-1 지점들에서 x-4 지점들 보다 약 3.0℃ 낮은 온도가 나타났다. 환기가 이루어지는 방향이 2-x에서 1-x 방향이므로 2-x 지점들의 온도가 더 낮게 나타난 것으로 보이며, 출입구가 위치한 x-1 지점에서 온도가 현저히 낮게 나타나는 것으로 보아 출입구의 틈

새로부터 외기의 유입 문제가 심각함을 알 수 있다. 실제 출입구를 통한 외기의 유입 문제는 육안으로 확인할 수 있을 정도로 확인했다(그림 27).

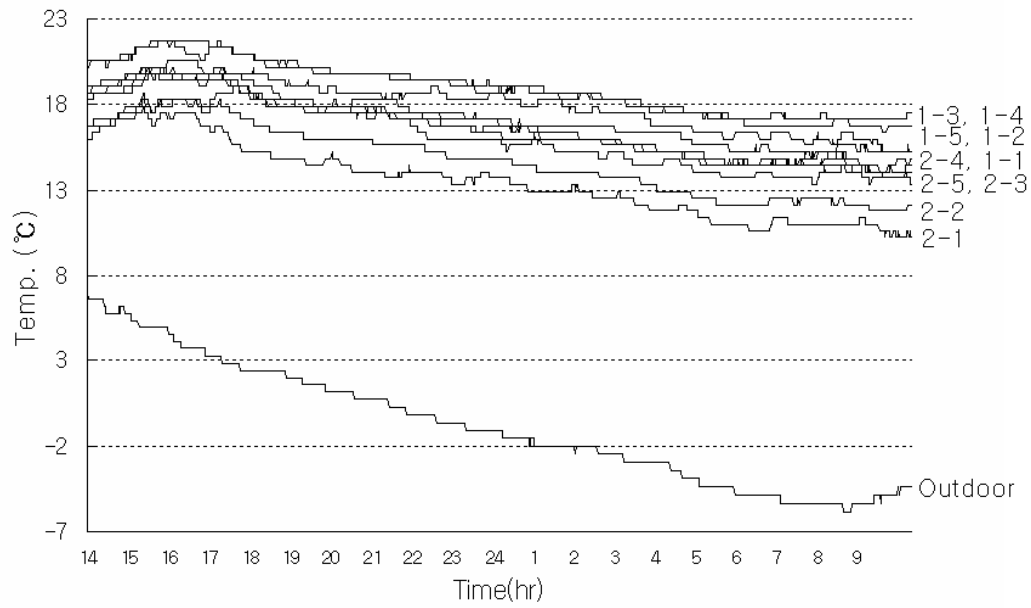


Fig. 26 Temperature variations at measuring points and outdoor



Fig. 27 A gap in a door causing inexpectant air-infiltration

출입구를 통한 외기의 유입에 의한 문제는 돼지들의 움직임에 통하여 확인할 수 있었다. 그림 28과 같이 출입문에 근접한 곳에 위치한 돈방에는 돼지들은 유입되는 찬 공기 때문에 체온을 유지하기 위하여 거의 활동을 하지 않고 모여서 누워있는 모습을 볼 수 있었다. 반면에 그림 29와 같이 돈사의 중앙부에 위치한 돈방의 돼지들은 활발하게 움직이며 사료를 먹는 것을 볼 수 있었다.



Fig. 28 Powerless pigs near the indoor



Fig. 29 Lively pigs in the middle of pig house

지점별로는 2-1지점이 가장 낮은 온도를 보였으며, 1-4지점에서 가장 높은온도가

나타났고, 두 지점의 온도 편차는 측정시간 중 평균 5.5℃로 크게 나타났다. 27일 14시부터 약 18시까지는 시설 관리 등의 이유로 출입문을 통한 유출입이 많아 출입문 근처의 1-1, 2-2 지점에서 상대적으로 낮은 온도가 형성되었으며, 18시 이후로 전체적인 온도 분포가 거의 일정하게 유지되었다. 27일 18시부터 28일 9시까지의 결과만을 살펴보면, 각 지점은 2-1지점에 비해 다음과 같은 온도 편차를 보였다.

Table 7 Temperature differences between 1-2 point and the other points. The positive values mean those temperatures are higher than that of 1-2 point. STD means a standard deviation. (Unit : ℃)

	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-2	2-3	2-4	2-5
Average	3.5	4.9	5.6	5.8	3.9	1.4	3.4	3.5	2.8
Max. STD	4.3	5.8	6.5	6.6	5.1	2.0	4.3	4.7	3.9
Min. STD	2.7	3.9	4.5	4.7	2.8	0.8	2.3	2.4	1.6

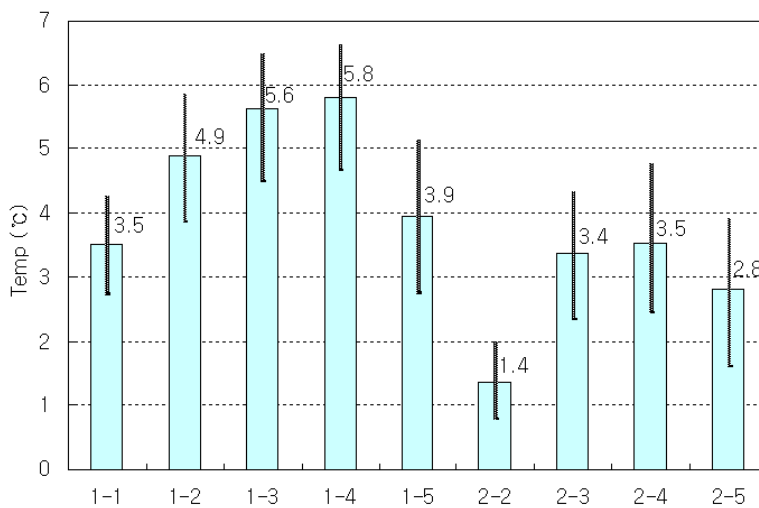


Fig. 30 Temperature differences between 1-2 point and the other points. Bars mean the average values and bold lines indicate the range of standard deviation.

1-4지점이 최대 6.6°C의 온도편차를 나타냈으며, 그 외의 다른 지점들도 대부분이 4°C 정도의 큰 편차를 나타내고 있어, 시설 전체적으로 온도 분포의 편차가 크게 나타났다. 각 지점 및 외기의 습도 분포는 다음과 같다.

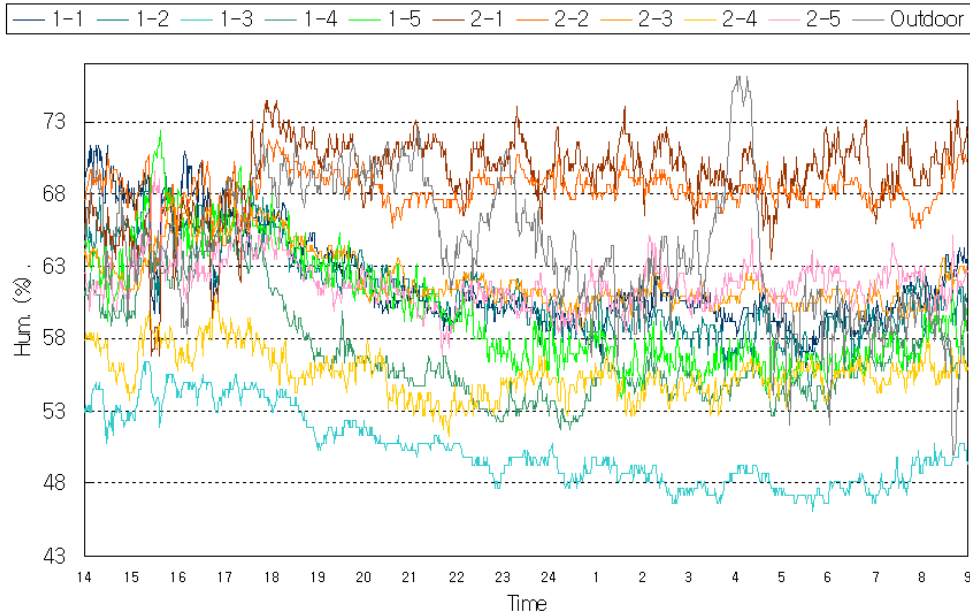


Fig. 31 Humidity variations at measuring points and outdoor

동일한 환경조건 하에서 상대 습도는 온도에 반비례하므로, 전체적인 습도의 분포는 온도 분포와 반대의 경향을 나타냈다. 외기의 상대습도는 50~76%로 27일 저녁에 높게 나타났으며, 이후 점차 감소하여 28일 아침에 가장 낮게 나타났다. 28일 4시경에 순간적으로 높은 상대습도를 나타내기도 하였다. 시설 내 위치 별로는 1-x 지점이 평균 58%인데 비해 2-x 지점이 평균 63%로 더 높은 상대습도를 나타냈다. x-1, x-2, x-3, x-4, x-5 지점들은 각각 65.6, 64.8, 56.3, 56.3, 60.9%로, x-1 지점들이 x-4 지점들에 비해 약 9.3% 더 높은 상대습도를 나타냈다. 지점 별로는 2-1지점이 전체적으로 가장 높은 상대습도를 나타냈고, 1-3 지점이 가장 낮은 상대습도를 나타냈다.

Table 8. Humidity differences between 1-2 point and the other points. The negative values mean those humidity are lower than that of 1-2 point. STD means a standard deviation. (Unit : %)

	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-2	2-3	2-4	2-5
Average	-9.5	-10.0	-20.8	-14.6	-11.7	-1.7	-8.7	-15.1	-8.7
Max. STD	-14.5	-16.2	-25.9	-20.9	-20.3	-5.5	-13.7	-19.9	-14.8
Min. STD	-4.3	-3.5	-14.7	-9.2	-4.3	4.6	-2.6	-8.7	-2.0

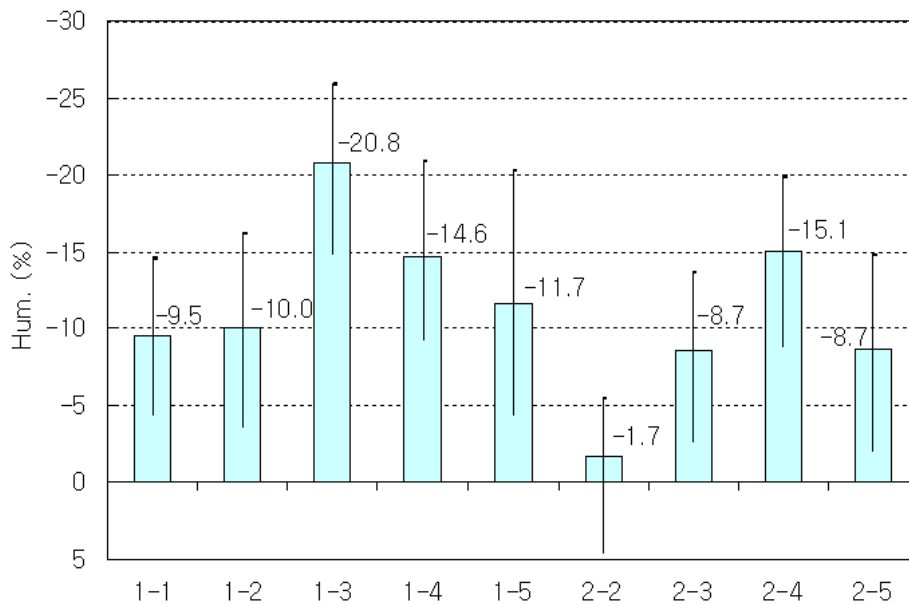


Fig. 32 Humidity differences between 1-2 point and the other points. Bars mean the average values and bold lines indicate the range of standard deviation.

온도편차의 경우 1-4지점이 가장 큰 편차를 보였지만, 상대습도는 1-3지점이 최대 25.9%의 편차를 보이며, 가장 큰 차이를 보였다. 2-2지점은 실험기간 동안 2-1지점보다 온도가 높았지만, 상대습도 또한 순간적으로 2-1지점보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 반면, 1-2와 1-4지점은 온도 경향과 비교하였을 때, 상대적으로 상대습도의 편차가 크게 나타나지는 않았다.

시설 내부의 표면온도는 27일 정오와 28일 오전에 걸쳐 2회 측정하였다. 표면 온도 측정 시 필요한 각 재료의 방사율(emissivity) 값은 콘크리트 0.95, 철재 0.8, 유리 0.85를 사용하였으며, 돼지의 경우는 0.85~0.95의 다양한 값을 적용시켰으나 방사율에 따른 온도 차이가 거의 나타나지 않았다. 측정한 결과는 다음과 같다.

Table 9 Surface temperatures measured by infrared gun

	12:20 on Dec. 27			10:30 on Dec. 28		
	Average	No. of samples	STD	Average	No. of samples	STD
Pig	34.4	66	2.4	33.0	66	2.4
Ceiling	18.3	19	1.6	16.0	19	1.6
Side wall(left)	16.5	20	2.1	13.1	21	1.3
Side wall(right)	15.7	20	0.8	11.2	14	1.7
End wall(x-5)	16.5	8	1.5	12.0	4	0.2
End wall(x-1)	13.7	4	0.5	8.8	6	0.4
Floor(middle aisle)	13.0	22	1.5	13.0	19	2.4
Floor(right aisle)	10.3	24	2.8	11.0	19	2.5
Floor(center pig-room)	20.6	16	4.9	13.8	16	6.9
Floor(empty center pig-room)	14.6	2	3.5	10.9	2	4.0
Floor(right pig-room)	18.9	17	5.4	15.9	17	3.4
Floor(empty right pig-room)	12.3	1	0.0	12.7	1	0.0
Inner wall	16.0	20	1.9	13.2	20	1.5
Entrance door	8.9	6	0.3	0.3	6	2.9
Small door	5.4	7	0.5	0.4	5	0.1
Window	6.9	3	0.0	-1.2	1	0.0

대부분의 경우, 오전에 측정된 온도가 정오에 측정된 온도보다 낮게 측정되었다. 측벽의 온도는 왼쪽 측벽이 오른쪽보다 0.8~1.9℃ 더 높게 나타났으며, 끝벽은 출입구 쪽이 맞은 편보다 2.5~3.2℃ 더 낮게 나타났다. 바닥의 온도는 돈방이 통로보다 전체적으로 높게 나타났으며, 폐지가 있는 돈방의 바닥이 비어있는 돈방보다 더 높은 온도를 나타내었다. 암모니아 가스 측정은 27일 낮 13시부터 약 30분간 실시하였다. 가스 측정기 2대를 이용하여 돈사 내부의 바닥으로부터 약 1m 높이에서 측정하였고, 그 중 한대를 이용하여 바닥에서 발생하는 암모니아 가스의 농도를 측정하였다.

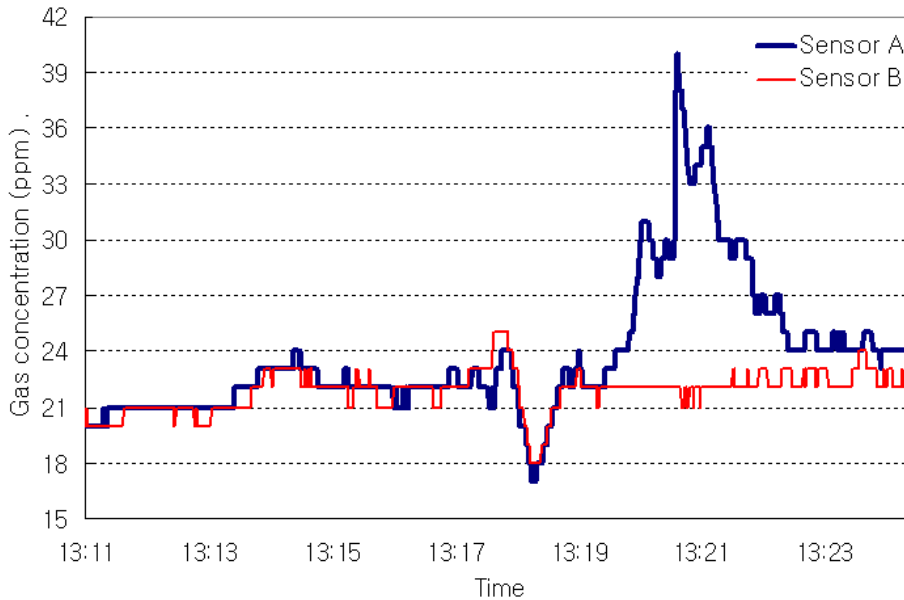


Fig. 33 Variations of Ammonia concentration near the floor of pig-room with two Ammonia sensors at about 13:20.

바닥에서 1m 높이에서의 암모니아 가스 농도는 두 센서 모두 약 21.8ppm 으로 측정되었다. 13시 18분경에 순간적인 농도 감소가 나타났지만, 이는 사람의 통행, 출입문의 개폐, 환기팬의 작동 등으로 인해 순간적으로 발생된 공기흐름에 의한 것으로 사료된다. 이렇게 감소된 값을 고려할 때, 1m 높이에서의 암모니아 가스 농도는 약 22ppm 이 타당할 것으로 사료된다. 바닥에서의 암모니아 가스 농도는 센서 A를 사용하여 측정하였다. 위 그림에서 13시 20분경 농도가 급상승하는 부분이 바닥에서 측정한 부분이다. 돈방의 바닥에서 발생하는 암모니아 가스 농도는 순간적으로 최고 40ppm 까지 높게 측정되었으며, 평균적으로 약 32ppm 정도로 측정되었다.

나. 돈사 B, C 에서의 현장실험 (2007년)

그림 34~36는 돈사 내부의 공기가 습식공기정화기를 통과하기 전과 통과한 후의 암모니아 농도, 내부 공기의 온도, 상대 습도의 변화를 나타낸 것이다. 암모니아 측정기를 사용하여 습식공기정화기로 들어가기 직전의 유입공기와 습식공기정화기에서 정화되어 나오는 유출공기의 암모니아 농도를 측정하였다. 그림 34는 암모니아 농도를 약 30분간 측정한 후 그 결과 중에서 비교적 안정적인 시기로 판단되는 약 3분간의 결과를 나타낸 것이다. 이 기간 동안의 평균 암모니아 농도는 유입공기에서 52.3 ppm, 유출공기에서 46.5 ppm로써 약 11%의 암모니아 절감 효과를 보였다. 그림 35와 36은 유입공기와 유출공기의 온도와 습도를 측정한 결과이다. 습식공기정화기는 내부로 들어온 오염된 공기에 물을 사용하여 유해가스를 제거하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 내부로 들어온 공기는 증발 잠열에 의하여 온도가 떨어지게 되며 상대습도는 증가하게 된다. 유입공기의 온도는 20.4℃이며 상대습도는 80.7% 였으나 유출공기의 온도는 18.7℃이며 상대습도는 94.2%로 온도의 경우 절대 온도를 기준으로 하여 약 0.6%가 감소하였으며, 상대 습도는 약 13.5%가 증가하였으나, 외부의 온도를 기준으로 계산한 절대 습도를 기준으로 약 5%가 증가하였다.

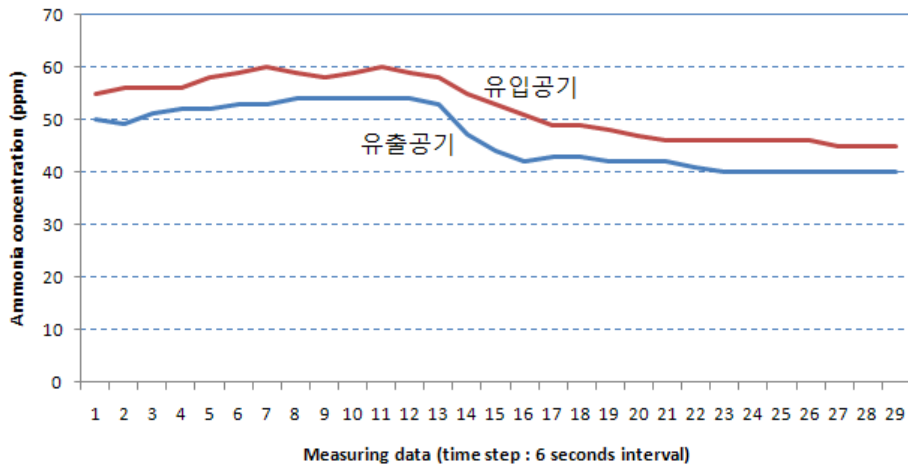


Fig. 34 Change of ammonia concentration at the inlet and outlet of wet air cleaner according to the measuring time

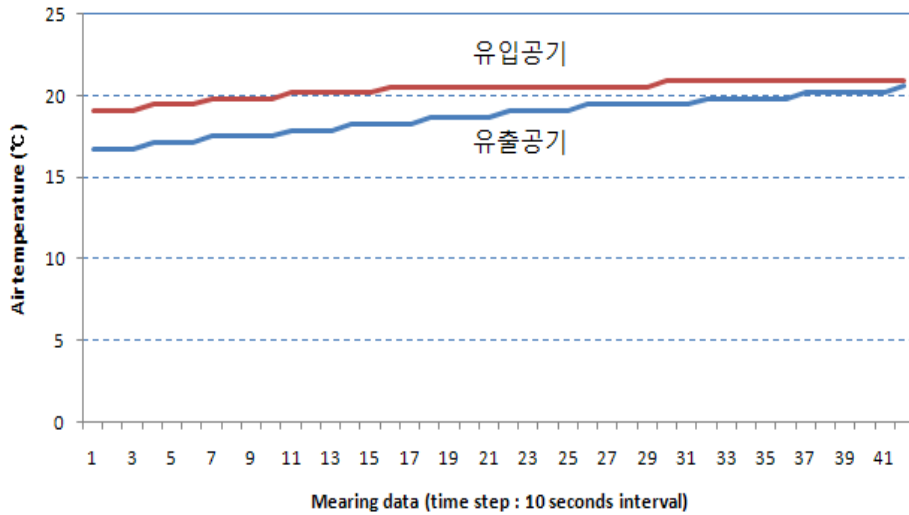


Fig. 35 Change of air temperature at the inlet and outlet of wet air cleaner according to the measuring time

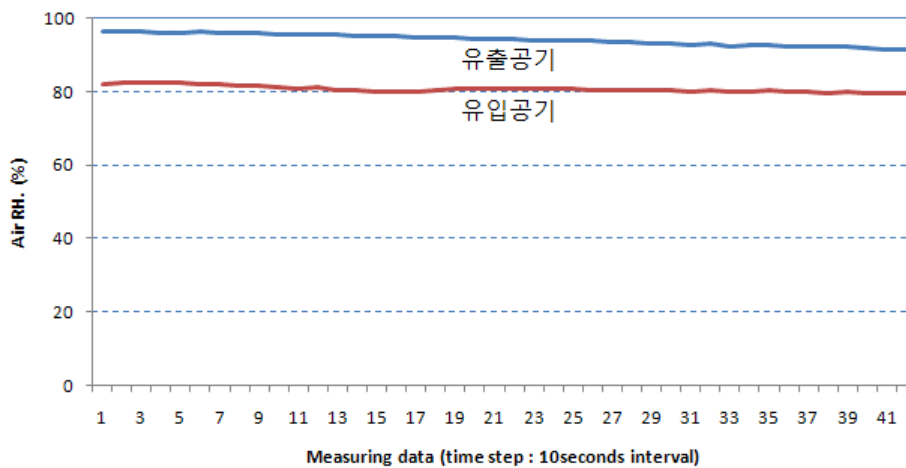


Fig. 36 Change of air relative humidity at the inlet and outlet of wet air cleaner according to the measuring time

습식공기정화기의 유입공기와 유출공기의 온도, 습도, 암모니아 농도 등의 특성을 현장실험을 통하여 명확하게 분석하는 것은 무척 어려웠다. 습식공기정화기는 기본적으로 상부의 팬을 통하여 외부의 공기가 유입되어 측면에 있는 2개의 유출구를 통하여

정화된 공기가 유출되는 구조이다. 그러나 실제로는 그림 21과 같이 상부의 유입구의 경우 가운데 부분에서는 공기가 들어가고 있으나 유입구 팬의 바깥쪽에서는 공기가 오히려 유출되고 있었다. 또한 유입구에서 나오는 공기는 많은 수분 또는 물방울을 같이 내뿜어 높은 습도가 측정되는 문제를 보였다. 유출구의 경우 그림 37(하)와 같이 바깥쪽에서는 원활하게 공기를 내뿜고 있는 반면에 팬의 안쪽에서는 오히려 공기가 들어가는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 습식공기정화기의 구조적인 문제로 인하여 유입구와 유출구가 완벽하게 독립적으로 작동하지 않는 문제를 보여 완전한 유입구와 유출구를 가정하여 수행한 시뮬레이션 결과와 차이를 보일 것으로 판단된다. 또한 습식공기정화기의 효율성이 떨어질 것으로 예상된다.

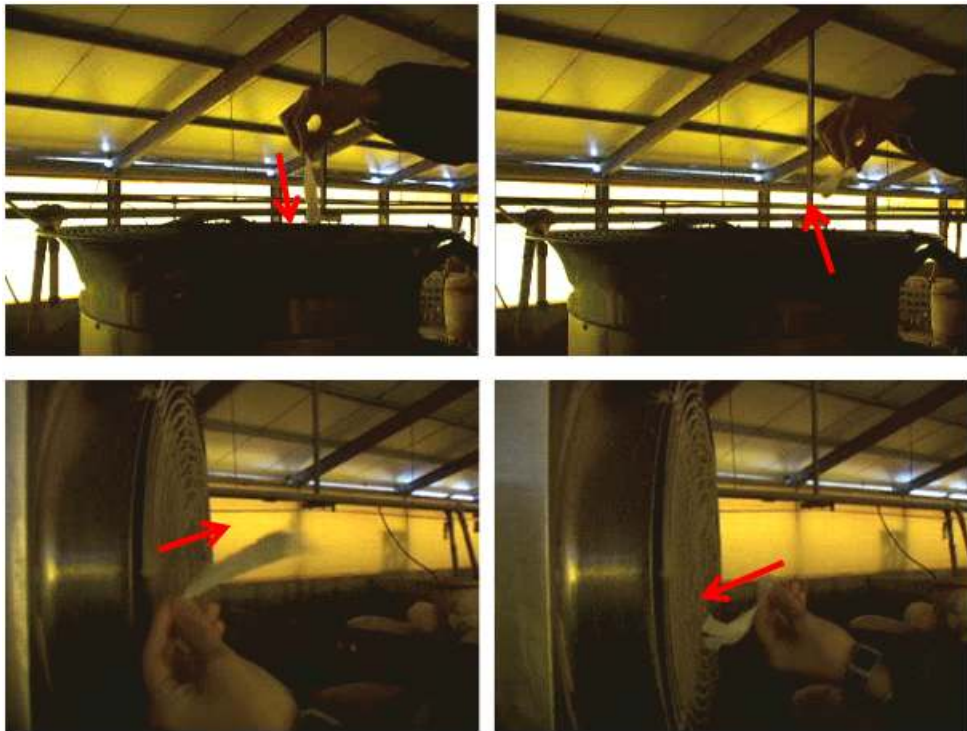


Fig. 37 Direction of air flow at the inlet (up) and outlet (down) of wet air cleaner

2. 3차원 CFD 시뮬레이션 모델 설계

CFD 시뮬레이션을 위한 CFD 모델을 만드는 과정은 크게 Gambit 을 사용한 구조 설계와 Fluent를 사용한 시뮬레이션 환경 조건의 설계로 나눌 수 있다. Gambit을 사용한

격자망의 설계는 우선 구조를 다수의 볼륨으로 만든 후 이를 각각 적절한 간격과 모양의 격자로 나눈 후 최종적으로 경계 조건 (Boundary condition)을 지정하여 주는 과정을 거치게 된다. 때문에 구조를 형성하기 전에 설정할 경계 조건을 미리 생각하여 가급적 많은 수의 볼륨으로 나누어 설계하는 것이 작업을 수월하게 하는 방법이다. 이번 돈사 모델에는 외벽과 환기구, 출입구를 비롯하여 내부에 다양한 경계 조건(복도, 돈방, 철창, 덕트, 습식공기정화장치, 환기구, 순환팬 등)을 설정하기 위하여 내부 공간을 그림 38과 같이 많은 수의 볼륨으로 나누어 설계하였다.

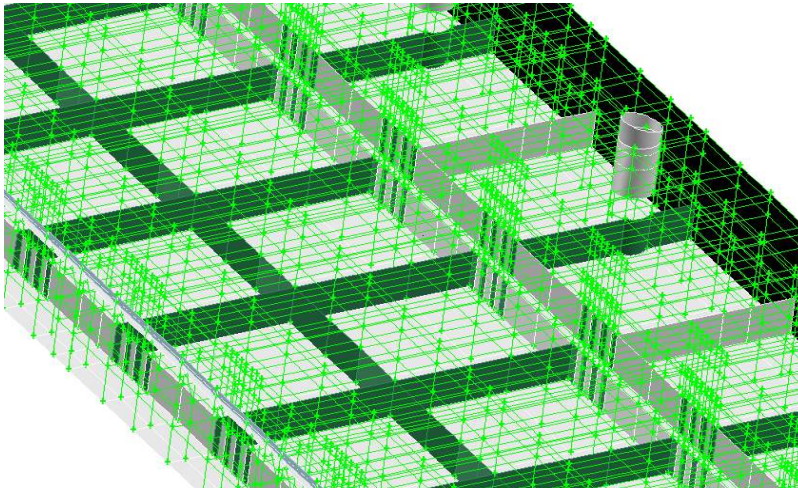


Fig. 38 Volume sections of CFD simulation model for meshes in pig house using Gambit ver 2.3.30

그림 38과 같이 대부분의 공간은 직육면체 볼륨의 합으로 이루어졌으나, 덕트와 지붕의 경우는 각각 원기둥과 삼각기둥 형태로 설계하였다. 이 경우 볼륨의 제작에는 큰 문제가 발견되지 않지만, 직육면체와 원기둥이 만나는 부분에서 메쉬의 연결이 잘 되지 않는 문제가 종종 발생한다. 따라서 원기둥들의 윗면과 아랫면의 원 부분을 인접한 직육면체들의 사각평면과 연결되도록 하기 위하여 4개의 선분의 합으로 나누어 설계하였다. 이를 통하여 원기둥과 직육면체의 연결부의 메쉬 작업의 효율성이 향상되는 결과를 보였다. 이와 같은 방법을 사용하여 작성된 메쉬는 다음과 같이 구성되었다.

Table 10 Computational domain using Gambit

Size	Pig house A : 14m width × 73m length × 5.4m height Pig house B : 8m width × 50m length × 4.7m height Pig house C : 15m width × 50m length × 4.4m height
Shapes of meshes	Hex:Map , Hex/Wedge:Cooper, Tet/Hybrid : Tgrid
Number of meshes	Pig house A : about 2.32 million meshes Pig house B, C : about 2.8 million meshes

시물레이션 모델의 검증이 끝난 후 검증된 모델을 토대로 습식공기 정화장치의 효율성에 대한 평가를 위하여 습식 공기정화기를 모델에 추가시켰다. 이 경우 습식공기정화기를 놓는 위치와 방향에 따라서 돈사 내부의 유동장이 변화하고 또한 그 효과도 달라질 것으로 판단되어 다양한 위치에서의 효과를 분석할 필요가 있다. 그러나 매 경우 모델을 다시 만드는 데는 많은 시간이 소요되기 때문에 필요한 위치에 습식공기정화기를 미리 설계해 놓은 후 각 구조에 대한 연산을 수행할 때, 필요 없는 습식공기정화기의 경우 Interior zone으로 설정할 수 있게 하였다. 이를 통하여 장비를 놓는 위치에 따라서 필요한 부분에만 장비를 설정하고 나머지 부분에는 장비가 없는 것처럼 하여 매 경우마다 모델을 새로 만드는 번거로움을 줄일 수 있었다.

이전 CFD 시물레이션 연구들의 경우 보통 돈사 내에 돼지가 없는 것으로 가정하여 구조만을 대상으로 시물레이션을 수행하였다. 그러나 이 경우 실제 돼지에 의하여 발생하는 유동장의 변화나 체열 및 수분의 발생 등을 효과적으로 나타내지 못하였다. 따라서 이번 CFD 시물레이션에는 Seo et al.(2008)을 참고하여 돼지를 모델링하여 이를 활용하였다. 돼지의 경우 다리, 귀, 코, 꼬리등 매우 사실적으로 상세히 표현되어 있는 모델을 사용하였다. 그러나 이처럼 상세한 모델을 사용하여 mesh를 설계할 경우 제한된 영역에 많은 수를 필요하게 된다. 그러나 시물레이션이 돈방 하나를 대상으로 하는 것이 아니라 넓은 돈사 전체를 대상으로 하기 때문에 이처럼 상세한 묘사를 사용할 경우 공학적으로 실용적인 시물레이션에 적합하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 돼지의 다리와 꼬리, 콧구멍 등을 생략한 다소 단순화한 모델을 사용하는 것이 적절하다고 판단된다. 그림 39는 돼지의 간략화 과정을 나타낸 것이다. Original model의 다리와 꼬리등을 제거하여 간략화 시킨 모델을 만들어 각 돈방에 각각 현장 상황을 고려하여 약 15 마리의 돼지를 넣어 최종 시물레이션 모델을 만들었다. 그러나 이 경우 두 가지의 문제가 발생하였다. 첫 번째 문제는 그림 23의 Step 1에서와 같이 돼지 모형은 삼각형

의 mesh들이 모여 전체 volume을 형성하기 때문에 얼굴 부분과 같이 mesh가 조밀하게 형성된 부분에서 Skewness number가 기준치를 넘어서는 경향을 보였다. Skewness number는 설계한 mesh의 정확도를 판별하는 하나의 방법으로써 사면체 mesh의 경우 0.9를 초과하지 않도록 설계하여야 한다(Fluent manual, 2007). 그러나 돼지를 넣은 돈방 하나를 기준으로 하였을 때, 돈방을 나타내는 볼륨의 외부 mesh 간격에 비하여 돼지의 표면 mesh 간격이 약 1/100 정도로 작기 때문에 기준을 초과하는 적절하지 못한 결과를 보였다. 따라서 이를 해결하기 위하여 Step 2와 같이 mesh의 간격을 몸통의 경우 약 4배, 얼굴의 경우 약 8배 정도 크게 하였다. 이를 통하여 Skewness number 기준을 초과하지 않고 돼지를 적용할 수 있었다. 그러나 Gambit 프로그램상의 문제로 설계한 데이터가 저장되지 않는 두 번째 문제가 발생하였다. Mesh의 설계과정에는 문제가 없으나 이를 저장할 경우 프로그램이 다운되는 현상이 반복되어 발생하였다. CFD 시뮬레이션 모델 설계에 사용된 컴퓨터는 Double CPUs with Pentium IV 3.0GHz, 4GB memory 로써 Technical supporter 와의 상의 한 결과 이는 Face, Edge 등의 정보가 너무 많기 때문이라는 결과를 내리게 되었다. Step 2의 돼지 모델 하나의 경우 약 300여개의 Edge와 약 120개의 Surface 정보를 가지고 있으며 이같은 모델은 돈사에 따라서 약 650두, 350두 설계하는 것은 일반적인 모델에 비하여 굉장히 많은 양이다. 따라서 더 간략화 시킬 필요가 있었다. 따라서 Step 3와 같이 기존의 vertex 들의 3차원 좌표 정보들을 활용하여 3차원적인 평면을 만들어 획기적으로 Edge와 Face들의 수를 줄일 수 있었다. Step 3과 같이 간략화시킨 돼지 모델을 돈방에 적용한 결과 Skewness number를 조절하는데 훨씬 유용하였다. 또한 Step 2의 경우 돼지 12마리를 넣은 400×400×100 크기의 돈방 하나에 약 4만개의 mesh가 소요된 반면 Step 3의 경우 약 2만 8천개로 mesh를 30% 정도 줄이는 효과를 보였다.

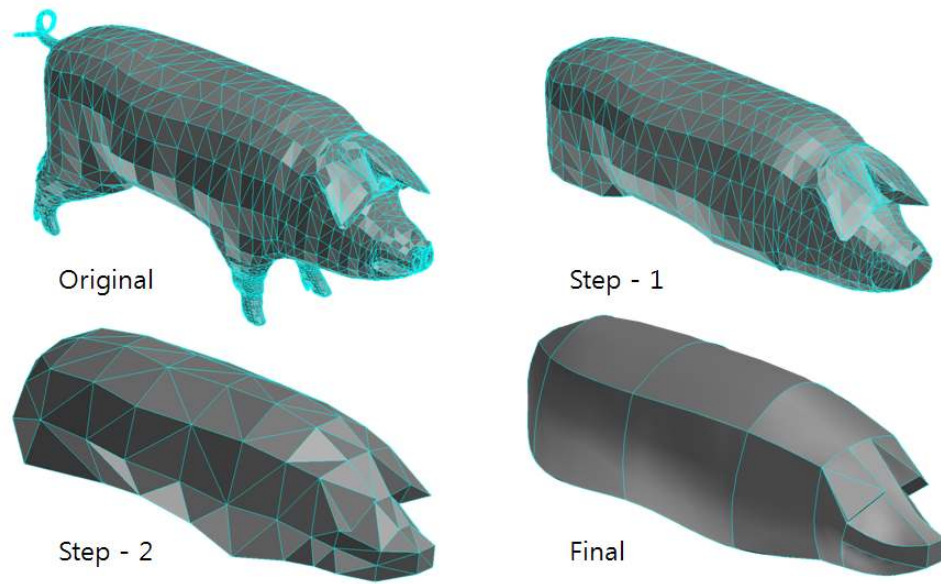


Fig. 39 Simplifying process of pig model

돈사를 설계한 CFD 시뮬레이션 모델은 그림 40, 41과 같다. 환기 구조적으로 중요한 것으로 판단되는 파이프 인렛과 사료통, 돼지는 그림 25와 같이 단순화 시켜서 표현하였으며, 하나의 모델을 사용하여 다양한 환경 조건과 습식공기정화기의 설치 위치 및 정화 공기 배출 방향에 대한 CFD 시뮬레이션을 수행하기 위하여 계획한 모든 부분에 습식공기정화기를 미리 설계한 후 이를 사용하지 않을 경우에는 미리 설계한 습식공기정화기를 Interior zone 으로 설정하였다. 이를 위하여 그림 42와 같이 습식공기정화기를 설치하기 위하여 계획된 돈방의 일부에는 중복하여 설계할 수 없기 때문에 돼지가 가득 차 있지 않다.

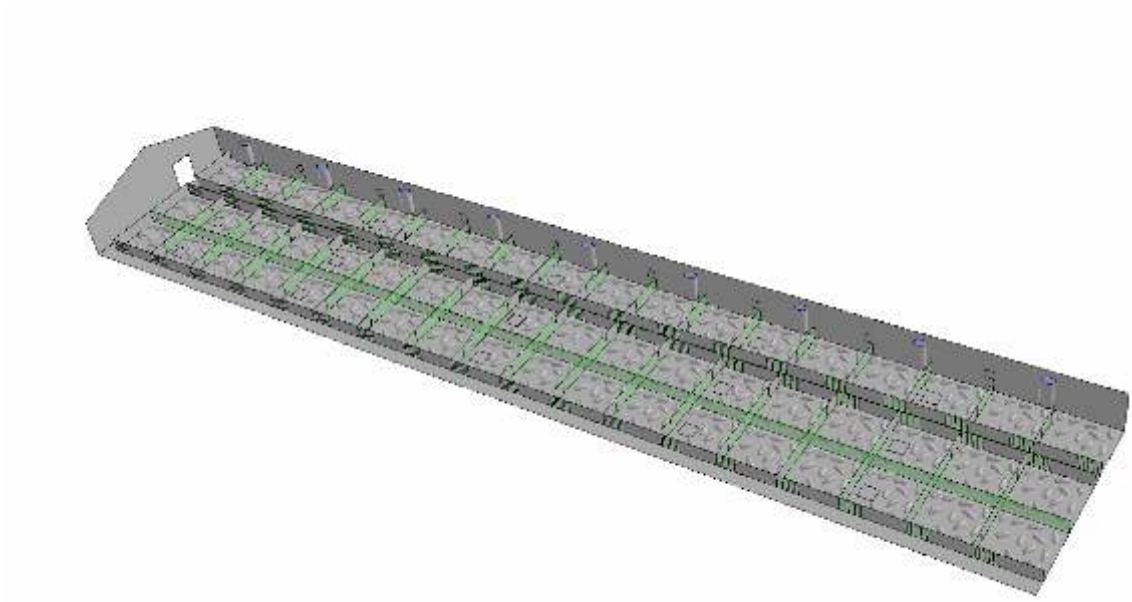


Fig. 40 CFD simulation model of whole pig house A

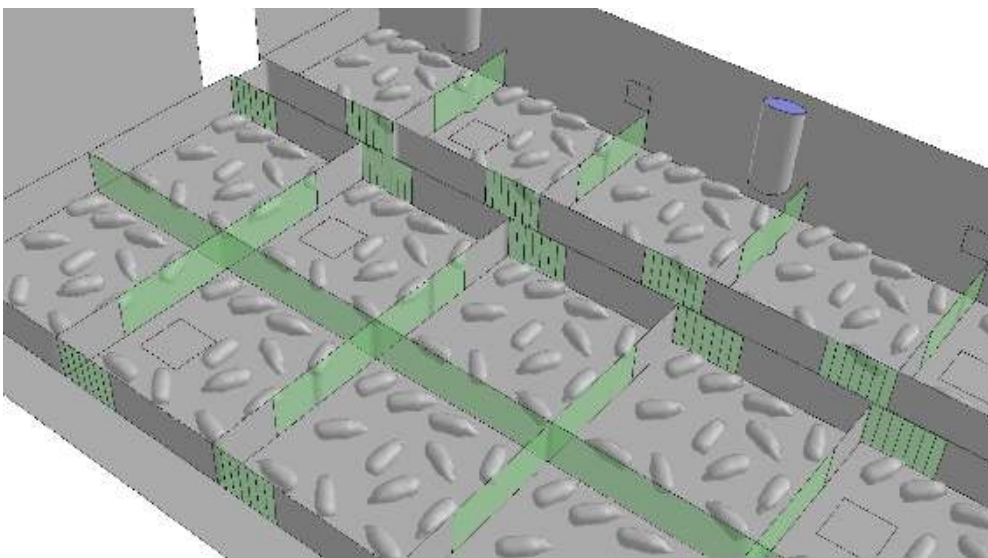


Fig. 41 Example of CFD simulation model with pigs

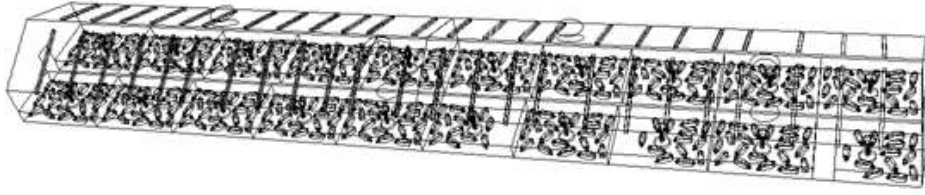


Fig. 42 Whole CFD simulation model of pig house B

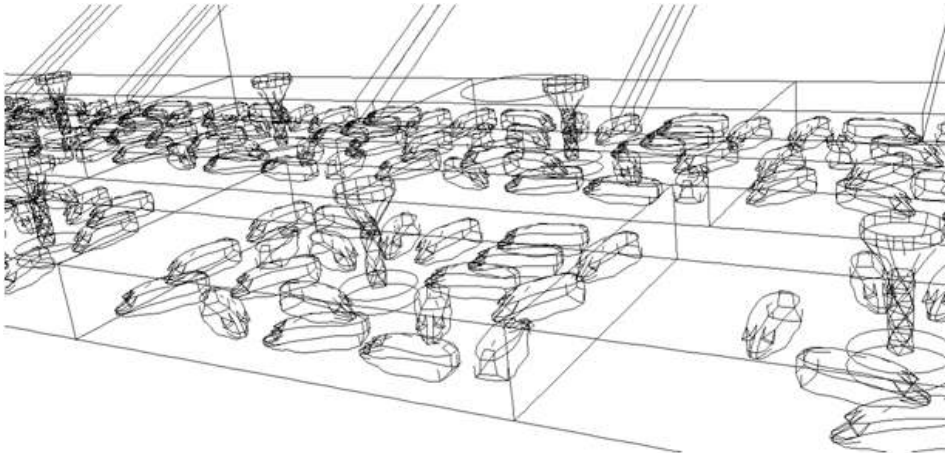


Fig. 43 Design of pig, feed tub and pipe in the CFD simulation at pig house B

각 돈사의 환기량은 현장실험에서 열선 풍속계를 활용하여 측정된 덕트의 유속를 감안하였으며, 실제 계산은 MWPS 8(Midwest Plan Service, 미국 중서부 설계기준)에서 제시한 사육단계별 필요 환기 (추천 환기)율을 사용하였다. 저온기 콘크리트 바닥에서 사육되는 비육돈의 경우 본 실험 돈사에 해당하는 150~220 lb (약 68~100kg)인 경우 두당 10 CFM (Cubic Feet per minute)이 필요하다고 제시되어 있다. 따라서 이를 돈사 A, 돈사 B의 사육두수인 약 650 마리, 350마리를 고려하여 계산한 결과 각각 184 m³/분, 85 m³/분의 결과를 얻었으며 이는 전체 돈사의 크기를 고려하였을 때, 각각 약 0.07 AER (Air exchange rates)에 해당하는 값이다. 돈방의 바닥에서는 현장 실험에서 측정된 결과를 바탕으로 암모니아와 습기가 발생하는 것으로 가정하였으며, 돼지에게서는 체열만이 발생하는 것으로 가정하였다. 돼지의 체열은 비접촉식 적외선 표면 온도계를 사용하여 다수 측정된 값을 바탕으로 하여 돼지의 표면의 온도를 설계 조건으로 사용하였다.

습식공기정화기의 실제 효과는 C언어로 작성한 프로그램을 UDF(User defined

function)을 사용하여 CFD 시뮬레이션에 적용하였으며, 현장실험 데이터를 바탕으로 코딩하였다.

그림 44, 45는 돈사 C에 대한 CFD 시뮬레이션 모델을 설계한 것이다. 다른 돈사 구조들과 같은 방법으로 환기 구조적으로 중요한 것으로 판단되는 부분을 가급적 유지하고자 노력하였다. 본 돈사의 환기 구조는 자연환기식이기 때문에 측벽의 상단과 지붕 가운데 부분에 환기구로 사용하기 위한 틈을 설계하였다. 완성된 CFD 모델을 사용하여 동절기를 가정하여 각 구조별로 각각 총 3분간의 시뮬레이션을 수행하였으며 온도, 습도, 암모니아 농도의 변화 및 환기 효율성을 비교 분석하였다.

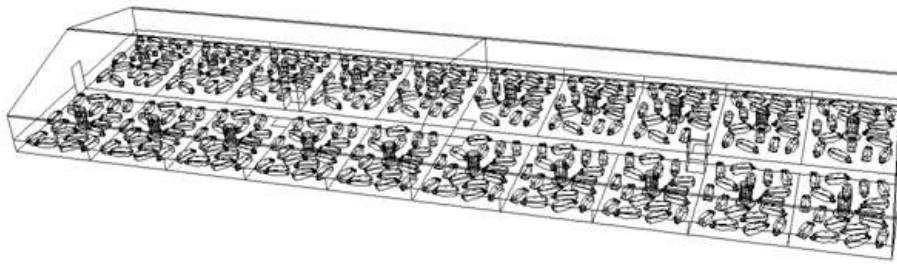


Fig. 44 Whole CFD simulation model of pig house C

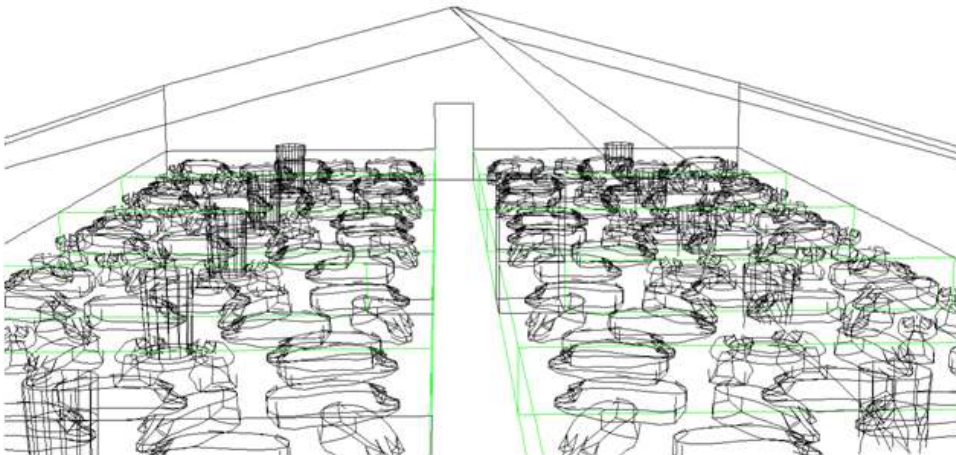


Fig. 45 CFD simulation model inside of the pig house C

3. 시뮬레이션 모델의 검증

2006년 돈사 A에서의 현장 실험을 통하여 얻은 온도 데이터 중 비교적 균일하다고 판단되는 오후 2시에서 3시사이의 데이터를 기준으로 CFD 시뮬레이션 검증을 수행하였으며, 시뮬레이션의 결과 중에서 센서가 설치된 위치와 동일한 위치에서의 온도 데이터를 추출하여 비교함으로써 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하고자 하였다. 첫 번째로 내부의 환경 조건을 현장의 조건과 동일하게 한 후, 2시에서 3시사이의 외기온도의 평균인 6.2 °C 의 공기가 측창과 양 끝의 출입구를 통하여 유입되도록 하여 시뮬레이션을 수행하였다(Table 11. Step1). 그 결과에서 센서가 설치된 1.2m 높이에서의 온도 데이터를 현장실험의 온도 데이터와 비교한 차이가 평균 약 8.7°C 낮은 결과를 나타내었다. 이 결과는 시뮬레이션과 현장 실험의 결과가 일치할 수 없음을 감안하더라도 지나치게 낮은 수치였다. 따라서 이 문제를 해결하기 위하여 환기량을 약 30% 줄이고 양 출입문에서 외부의 공기가 유입되도록 출입문을 porous medium 으로 설정하였다(Table 11 Step 2). 그 결과 현장실험의 온도 데이터와의 차이가 평균 약 4.4 °C로써 더 근접한 결과를 나타내었다. 그러나 이 이상 모델의 정확도가 향상되지 않는 문제가 발생하였다. 때문에 현장의 돈사 관리자와 상의한 결과 실제로는 측창에 차가운 외부 공기가 바로 들어오지 못하도록 비닐로 막아 두기 때문에 외부 공기보다 약 4 °C 정도 온도가 상승된 공기가 내부로 들어온다는 것을 파악하였다. 따라서 이를 고려하기 위하여 측창에서 유입되는 공기의 온도를 UDF (User defined function) 을 사용하여 측창의 양 끝부분에서 가운데로 갈수록 온도가 외부 온도보다 약 4 °C정도까지 점차 높아지도록 설정하여 이를 시뮬레이션에 적용하였다(Table 11. Fianl). 그 결과 현장실험의 온도 데이터와의 차이가 평균 약 0.8 °C 까지 근접하였다. 또한 현장실험 데이터를 기준으로 한 시뮬레이션의 온도 편차가 4.4% 이내로써 공학적으로 상당한 수준까지 정확도를 향상시킨 것으로 판단된다.

Table 11 Temperature of field experiment and simulation models by steps at the same locations installed the sensors.

	Step 1 (°C)	Step 2 (°C)	Final (°C)	Error (%)	Field Experiment (2~3 pm)
point 1-1	9.9	13.8	16.7	-1.8	17.0
point 1-2	10.0	13.7	17.9	-7.7	19.4
point 1-3	10.7	14.0	19.3	-5.9	20.5
point 1-4	11.1	14.6	19.8	-3.9	20.6
point 1-5	10.7	14.4	18.0	-3.7	18.7
point 2-1	8.7	12.0	16.2	-3.6	16.8
point 2-2	9.2	12.5	17.2	-0.6	17.3
point 2-3	10.0	13.1	18.3	-4.7	19.2
point 2-4	10.2	14.0	19.6	2.6	19.1
point 2-5	10.1	14.6	17.5	-6.4	18.7

그림 46은 센서가 설치된 동일한 위치에서의 3차원 CFD 시뮬레이션 모델의 결과 데이터와 현장실험의 온도 데이터를 비교한 것이다. 시뮬레이션의 결과는 현장실험의 결과와 대체로 비슷한 경향을 나타내었으며 다소 낮은 수치를 보였다. 그러나 현장의 환경조건이 불균일하며, 불안정한 상태임을 감안하였을 때, 이는 잘 부합되는 것으로 판단된다. 온도의 분포는 측장에서 멀어질수록 다소 높게 나타났으며, 1-4와 2-4 지점에서 온도가 가장 높은 결과를 보였다. 이는 1-1 방향에 있는 출입문의 크기가 1-5 방향의 출입문보다 상대적으로 더 크며, 작업 등의 목적으로 자주 개폐하기 때문에 완전히 밀봉되어 있지 않아 차가운 외부 공기가 더 많이 유입된 것으로 판단된다.

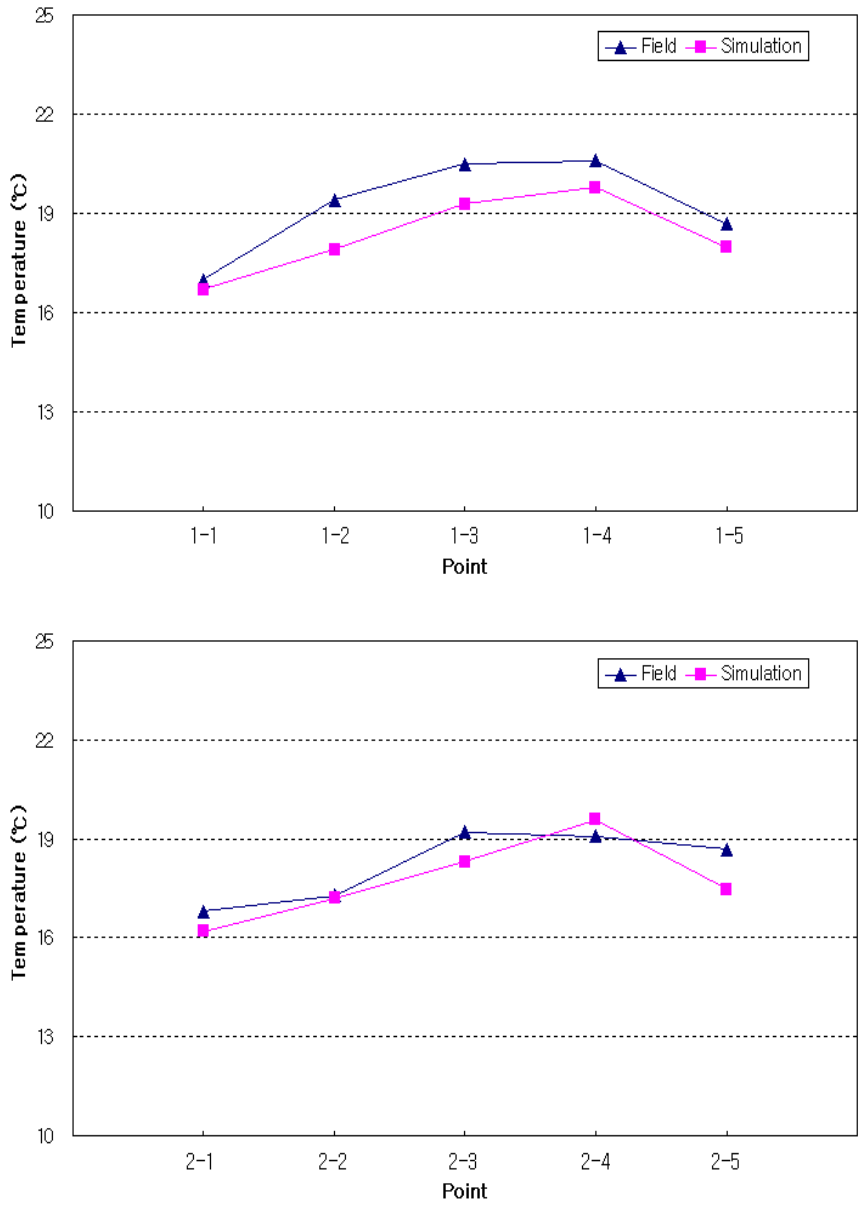


Fig. 46 Comparison between temperatures of the field experiment and that of the simulations at the same locations installed sensors ; the upper figure represented point 1-1 to 1-5 and the lower one point 2-1 to 2-5

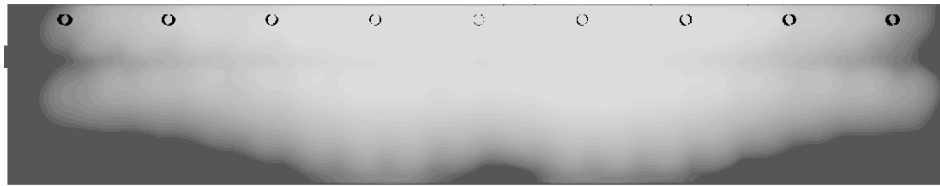
그림 47은 양쪽 출입구에서 들어오는 차가운 공기가 시간에 따라 퍼져가는 모습을 시

물레이션 한 결과이다. 이와 같이 양쪽의 출입구와 측창을 통하여 유입되는 차가운 공기는 내부의 따뜻한 공기보다 상대적으로 밀도가 높기 때문에 바닥 부근으로 떨어져서 움직이기 때문에 돼지의 사육환경에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

5sec



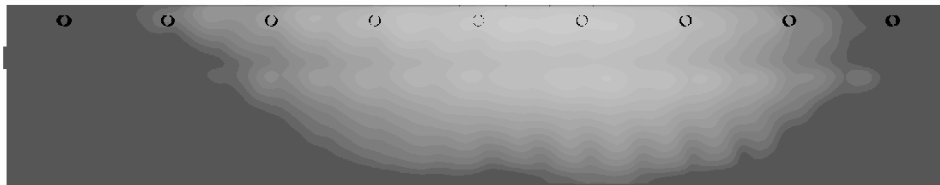
30sec



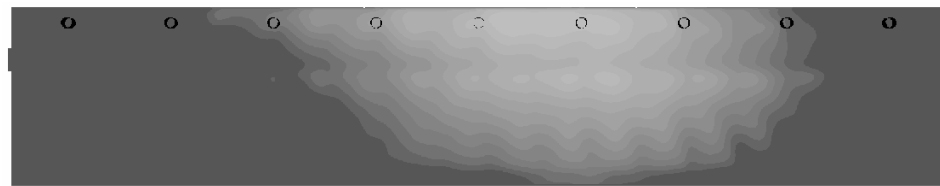
60sec



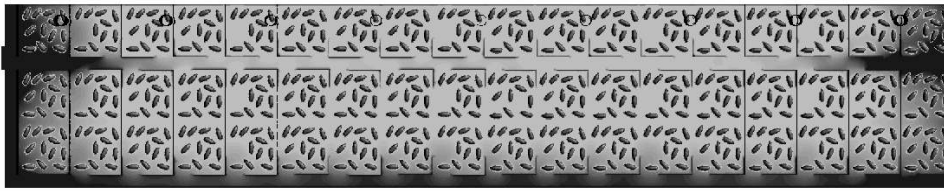
90sec



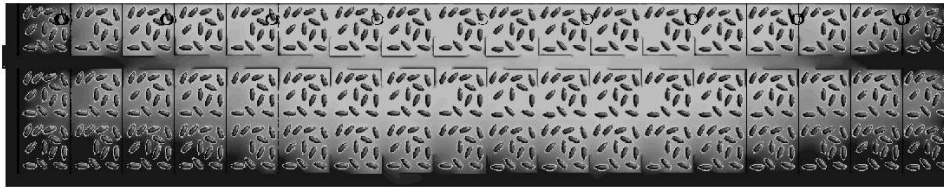
120sec



5sec



30sec



60sec



90sec



120sec



Fig. 47 Contours of temperature at the sensor zone (the lower figures, at the 1.2m height) and the pig zone (the upper figures, at the 0.5m height); The black color represented a tendency that changed the temperature inside the pig house.

4. 습식 공기정화기의 환기효율성 비교 분석

가. 돈사 A의 습식공기정화기 설치 위치에 따른 환기 효율성 분석

실험 돈사 A는 측창에서 유입되는 공기가 돈사 내부를 순환하여 팬이 설치된 덕트를 통하여 배기되는 음압식 환기 시스템을 사용하고 있다. 또한 측창 바로 아래 지붕 방향으로 판을 두어 그림 48과 같이 지붕방향으로 공기가 유입되어 상층부의 따뜻한 공기를 통하여 다소 온도가 상승된 후 돈방으로 내려가 유해가스와 함께 외부로 배출될 것을 기대하였다. 그러나 이러한 구조에서는 B 지점으로 환기가 집중되기 때문에 상대적으로 A 지점의 경우 환기의 효과가 미비해질 수 있기 때문에 환기구조적으로 완벽하지는 않다.

이와 같은 환기 구조상에서는 A 지점이 B 지점보다 상대적으로 온도가 높을 것으로 예상하였으나, 현장에서 측정한 온도 데이터등을 참고한 결과 반대로 A 지점이 B 지점보다 온도가 더 낮은 결과를 보였다. 이는 동절기에 내부의 온도가 급격히 떨어지는 것을 감안하여 환기량을 최소로 하기 때문에 측창으로 유입되는 공기의 양이 적어 돈사의 중앙부까지 뺏어나가지 못하고, 환기가 지속될 경우 그림 49에서와 같이 중앙부에 와류가 형성되어 유입되는 공기를 밀어내기 때문에 차가운 공기가 돈사 중앙부까지 퍼지지 못하고 바로 측벽으로 떨어지는 현상을 보였다. 이는 돈사 내부의 균일성과 안정성을 저해시키고 온도의 편차를 증가시켜 적정성유지에 어려움을 겪을 것으로 판단된다.

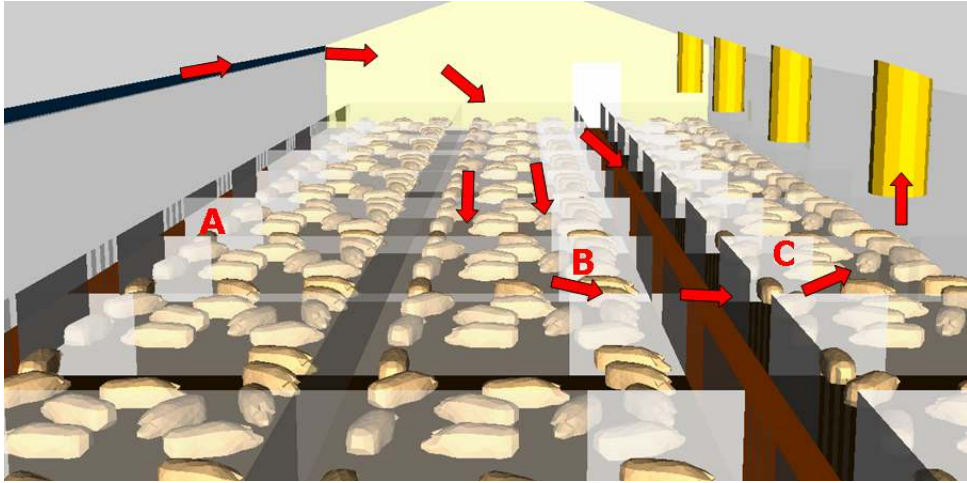


Fig. 48 Ideal air flow of pig-house

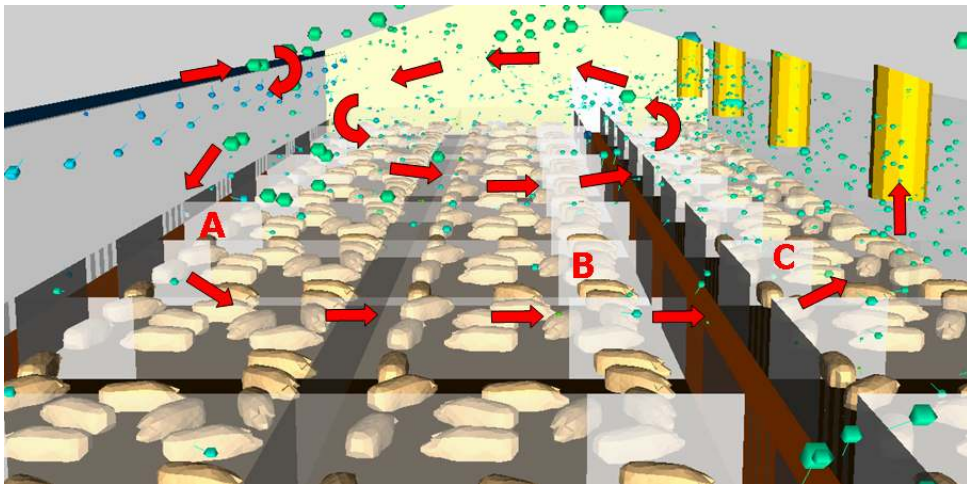


Fig. 49 Real air flow of pig-house by the CFD simulation

검증된 CFD 시뮬레이션 모델을 사용하여 습식 공기정화기가 효과적으로 사용될 수 있는 위치 및 방향을 결정하기 위하여 습식공기정화기가 없는 모델과 6가지 다른 구조로 습식공기정화기를 설치한 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 암모니아의 농도 분포를 비교하기 위하여 Tracer gas decay method를 사용하였으며, 초기에 30ppm의 암모니아가 돈방에 가득 차 있는 상태에서 0ppm의 외부 공기의 유입과 습식공기정화기에 의하여 배출되는 정화공기에 의하여 암모니아 농도가 감소하는 추세를 분석하였다. 모든 구조에 대하여 환기 시작 후 3분 동안의 온도 및 암모니아의 농도 분포를 상대적으로 비교하였다. 온도와 농도의 분포는 각 Case 별로 돼지 높이 (pig zone)와

기계 높이(machine zone)로 나누어서 3분 후의 추세를 분석하였다. 돼지 모델의 경우 실제와 비슷한 결과를 유도하기 위하여 돼지 몸이 바닥에서 약 20cm 정도 떨어지도록 하였으므로, 돼지의 코가 위치할 것으로 예상되는 높이인 35cm 를 돼지 높이로 설정하였다. 습식공기정화기는 2m 로 가정하였을 때, 정화 공기 배출구의 중심선이 위치하는 1.9m 를 기계 높이로 설정하였다. 또한 공기 정화능력을 분석하기 위하여 암모니아의 농도 희석을 비교하기 위하여 센서를 설치한 위치와 추가로 한 줄을 더 추가하여 총 15개의 포인트에서 결과를 비교함으로써 돈사 내부의 안정성, 적정성, 균일성 등을 분석하였다. 또한 습식 공기정화기의 적절한 사용 위치 및 방향을 분석하기 위하여 돈사의 길이 방향 (length) 과 폭 방향 (width)으로 나누어서 균일성을 분석하였다.

1) Case 0

그림 50은 습식 공기정화기가 없는 돈사에 대한 시뮬레이션 결과 중 시간에 따른 온도의 변화를 돼지 높이 (pig zone at 0.35m height)와 기계 높이 (machine zone at 1.9m height)에서 나타낸 것이다. 습식공기정화기가 없는 경우 온도의 분포는 길이방향으로 대체로 일정하였으며, 폭방향으로 온도 구배가 형성되는 것으로 나타났다. 이는 돈사 농장의 환기 구조가 처마아래의 입기구를 통하여 들어오는 외부 공기를 반대쪽 덕트에 설치된 팬을 통하여 폭방향으로 배기하기 때문이다. 또한 농장의 환기 구조적 문제로 인하여 차가운 외부 공기가 직접 바닥을 향하기 때문에 3분 후 돼지 높이가 기계 높이보다 온도가 약 1.3℃ 낮았다. 온도의 분포의 경우 완전한 대칭 형태는 보이지 않고 있는데 이는 바닥으로 떨어진 차가운 공기가 돈방의 비대칭적인 구조에 의하여 이동하기 때문으로 판단된다. 3분 후 돼지 높이에서의 평균온도는 약 19.1℃로 일반적인 비육돈의 적정 환경 기준인 15~20℃ 에 적합하였다. 그러나 온도의 편차의 경우 최대 14.6℃에 이르러 온도의 균일성에 문제를 보였다. 또한 기계 높이의 평균온도가 20.9℃ 로써 돼지 높이와 약 1.8℃의 온도 차이를 보였다.

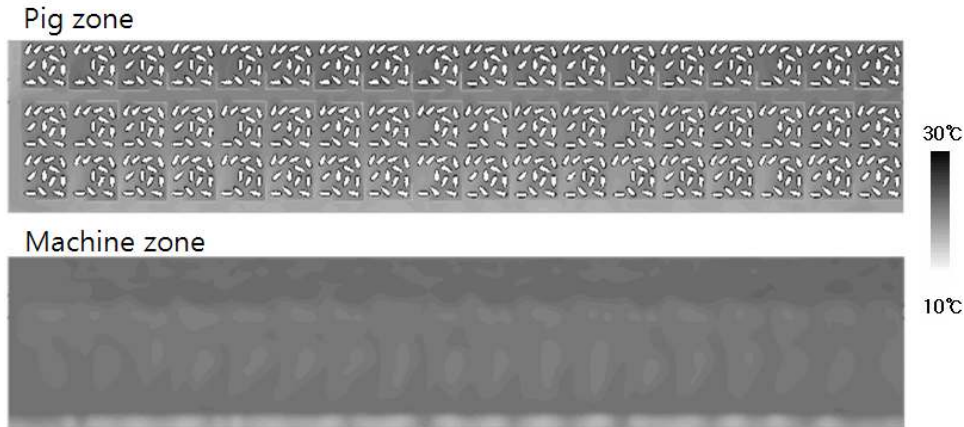


Fig. 50 Temperature distribution according to the height in Case 0

그림 51은 시간에 따른 높이별 암모니아의 희석을 나타낸 것이다. 결과의 경향은 온도의 분포와 비슷하였다. 이는 가스의 희석과 온도의 이동이 공기의 이동을 주 메커니즘으로 하기 때문이다. 또한 암모니아의 경우 일반적으로 공기보다 무거운 것으로 알려져 있으나, 유입되는 공기가 돼지 높이로 먼저 유입되기 때문에 암모니아의 농도의 경우 돼지 높이에서 먼저 희석되는 결과를 보였다. 돼지 높이에서의 암모니아 농도 분포는 공기의 이동방향에 따라서 처마아래의 입기구에 가까울수록 농도가 낮고 배기용덕트에 가까울수록 높은 분포를 보였다. 또한 밀도가 높은 차가운 공기가 돈사로 유입된 후, 비교적 저항이 낮은 복도를 타고 돈방이 없는 출입구 쪽으로 흘러들어가 출입구 부근의 농도도 비교적 낮아지는 경향을 보였다. 돈방의 구조상 각 열마다 설치된 칸막이로 인하여 농도의 분포가 비연속적으로 나타났다. 양쪽 출입구 부근은 농도가 비교적 높은 결과를 보였는데 이는 벽 근처의 유동이 적기 때문으로 판단된다. 돼지 높이에서의 암모니아의 농도는 평균 21.8ppm 으로 비육돈의 암모니아 허용 기준인 20ppm을 상회하는 결과를 보였다. 이는 NIOSH (National institute of occupational safety and health)가 제시한 돼지의 생산성에 영향을 미치지 않는 기준인 11ppm을 약 2배정도 높은 수치로써 유해가스에 대한 안정성에 다소 문제가 있을 것으로 사료된다.

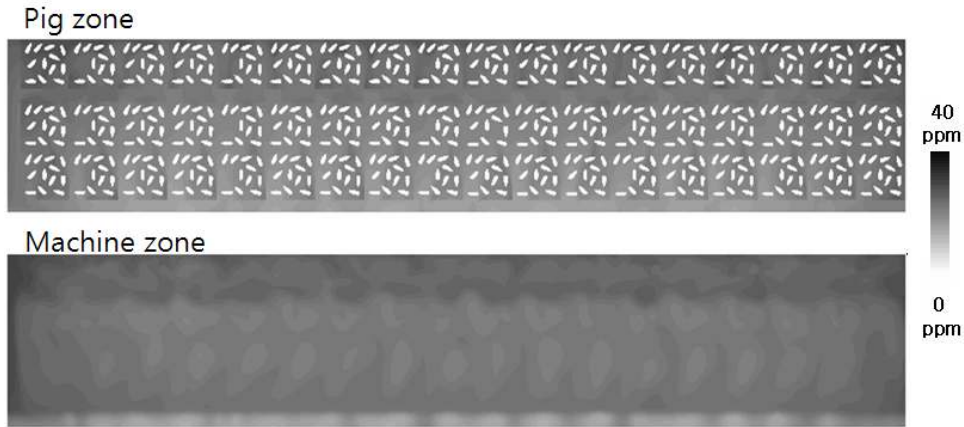


Fig. 51 Ammonia distribution according to the height in Case 0

그림 53은 각 측정 포인트별로 시간에 따른 돼지 높이에서의 농도의 변화를 나타낸 것이다. 측정 포인트는 그림 52와 같이 현장에서 센서를 설치한 10개의 돈방과 추가로 5개의 돈방의 가운데로 설정하였다. 각 포인트에서는 3분동안 4초 간격으로 데이터를 추출하여 안정성에 대한 분석을 실시하였다. 또한 습식공기정화기의 사용에 따른 균일성을 분석하기 위하여 돈사의 길이방향의 데이터를 분석하였다. 초기 농도를 기준으로 감소하는 농도를 백분율로 나타내었을 때, width-2,3 등 중앙 부분은 초기 농도에 비하여 암모니아 가스가 약 31%의 감소하였으며, width-5의 경우 48% 감소하였다. 습식공기정화기를 설치하지 않은 모델에 대한 시뮬레이션 결과는 대체로 검증을 위한 시뮬레이션의 결과와 비슷한 경향을 보였다. 환기는 폭방향으로 이루어졌기 때문에 농도와 온도의 분포는 폭방향으로 구배를 이루는 결과를 보였다.

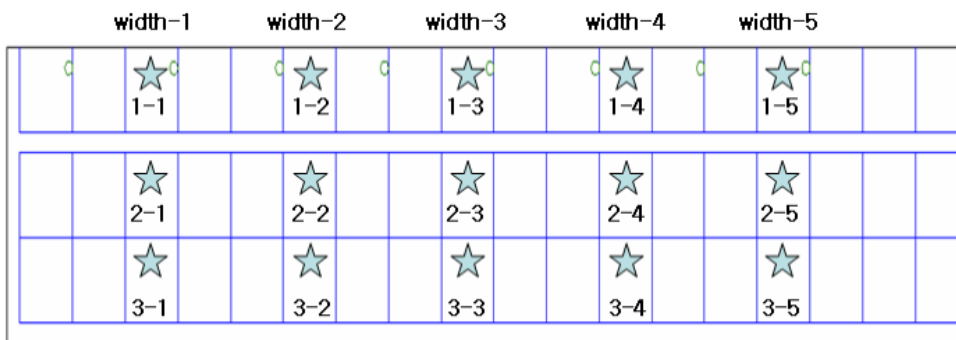


Fig. 52 Data points of CFD simulation

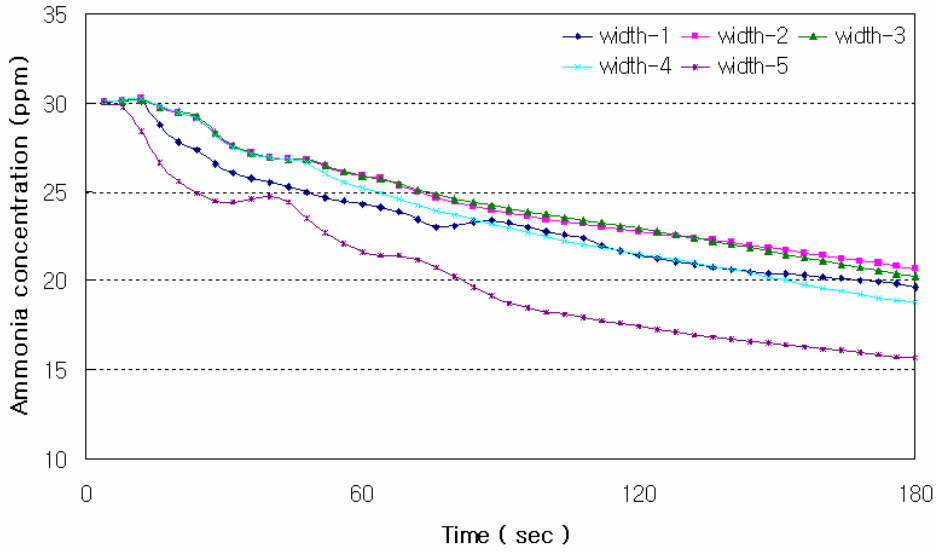


Fig. 53 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 0 in the direction of width

습식공기정화기를 설치하지 않은 Case 0의 경우 처마아래의 입기구에서 유입되는 밀도 높은 차가운 공기가 처마아래의 복도로 바로 떨어져서 복도를 타고 돈방으로 유입되어 폭방향으로 진행되는 기류를 보였다. 또한 기류가 돈방쪽으로 집중되어 센서 높이의 암모니아 농도가 돼지 높이의 암모니아 농도보다 약 3.0 ppm 더 높았다. 이는 암모니아의 밀도가 높은 것을 감안하였을 때, 시간이 지남에 따라 위쪽 공간의 암모니아가 다시 돈방으로 가라앉을 위험이 있을 것으로 사료된다. 습식공기정화기의 효율성을 비교하기 위하여 돼지 높이, 센서 높이에 해당하는 암모니아 농도의 평균값을 사용하여 습식공기정화기가 설치되지 않은 Case 0 과의 암모니아 농도가 감소된 정도의 차이를 토대로 하여 장치 효율성을 분석하였다. Case 0의 경우 3 분후 암모니아의 농도가 24.7% 감소하였다.

2) Case 1

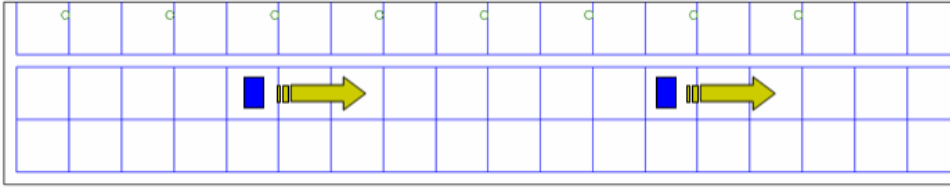


Fig. 54 Location and direction of wet air cleaner in case 1, pig house A

그림 55는 실험 돈사 모델을 대상으로 하여 습식공기정화기를 그림 54와 같이 가운데 열에 환기의 방향과 평행하게 설치한 Case 1에 대한 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. Case 1은 현재 실험농장에 설치한 습식 공기정화기의 배치와 같도록 하였으며, 습식 공기정화기의 상단부로 공기가 유입되어 화살표 방향으로 정화된 공기가 배출되도록 하였다. 습식공기정화기는 직육면체로 가정하여 모델링하였으나 정화된 공기는 실제와 같이 화살표를 기준으로 45도 양방향으로 배출되도록 하였다. 정화된 공기는 잠열을 고려하여 온도가 약 2℃ 감소된 18도를, 암모니아 농도는 0ppm 이 되는 것으로 가정하였다. 돼지 높이에서의 평균온도는 19.7℃로 Case 0에 비하여 약 0.5℃ 상승하였으나 비육돈의 적정온도에 부합하는 수치를 보였다. 습식공기정화기에 의하여 유동장이 변화함으로써 인하여 온도의 분포가 변화였다. 습식공기정화기를 설치하지 않은 경우 대체로 온도 분포는 환기의 방향에 따라 평행하게 나타난 반면, Case 1의 경우 습식공기정화기 작동 직후 습식공기정화기에서 배출되는 공기의 영향으로 습식공기정화기 설치 부근에서 온도가 낮아지는 경향을 보였다.

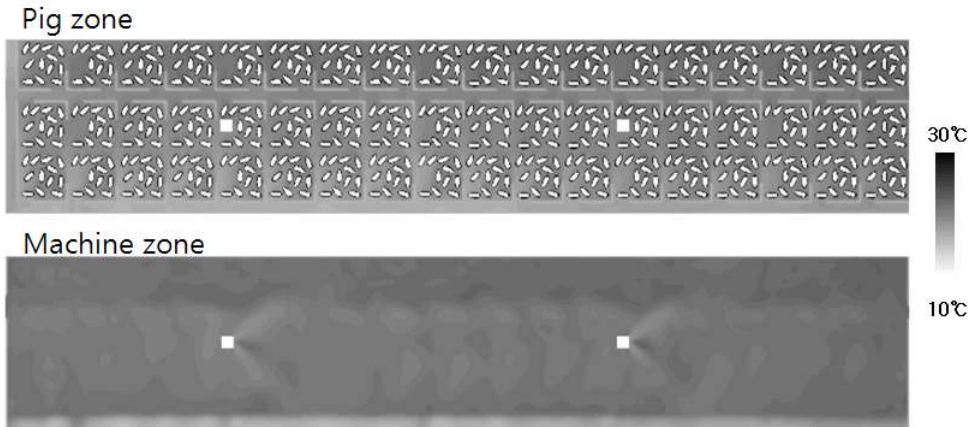


Fig. 55 Temperature distribution according to the height in case 1, pig house A

그림 56은 Case 1에 대한 암모니아 농도 감소를 높이에 따라 나타낸 것이다. 온도 분포와는 다르게 습식공기정화기에서 배출되는 공기에 의하여 지역에 따른 농도의 분포가 확연하게 나타났다. 특히 습식공기정화기에서 배출되는 공기의 영향을 직접 받는 부분의 돈방에서 암모니아 농도의 감소가 평균보다 약 4.2도까지 감소하는 결과를 보였다. 그러나 배출되는 신선한 공기가 처마아래 유입구로 들어오는 폭방향의 환기구구조적 기류에 의하여 원래의 예상보다 멀리까지 뺏어나가지는 않아 두 대의 습식공기정화기 사이의 농도가 습식공기정화기의 효과를 직접 받지 못하는 출입구 부근과 비슷하였다. 특히 돼지 높이에서는 돼지의 영향으로 인하여 신선한 공기가 인접한 돈방으로 멀리 확산되지 못하고 습식공기정화기 앞 10m 정도에 그 효과가 집중되는 결과를 보였다. 때문에 배기구가 위치 이는 환기의 방향과 수직으로 습식공기정화기를 작동시켰기 때문에 센서 높이와 기계 높이에서 배출된 정화공기의 방향이 꺾이면서 멀리까지 확산되지 못한 것으로 사료된다.

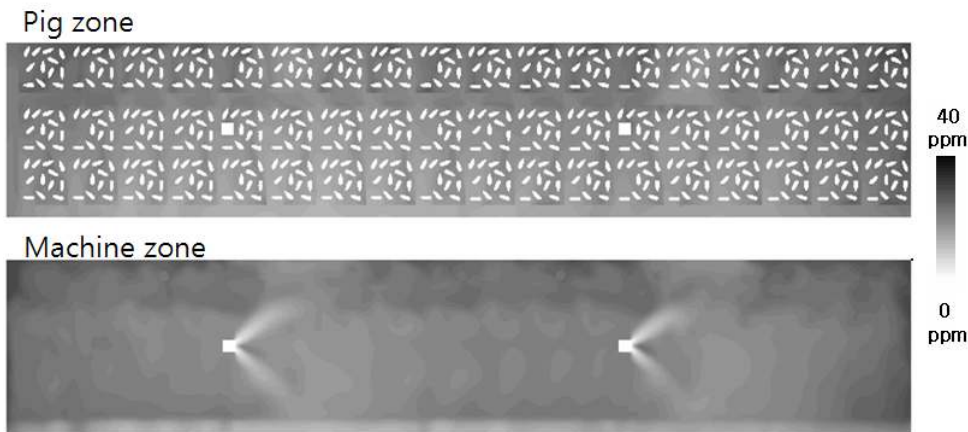


Fig. 56 Ammonia distribution according to the height in case 1, pig house A

그림 57은 Case 1에 대한 암모니아 농도의 감소를 길이 방향으로 평균한 것으로, 습식공기정화기를 설치하지 않은 경우와 비교하였을 때, 약 0.7ppm의 농도 감소 효과를 나타내었으나, 균일성면에서는 크게 향상되지 못하였다. 이는 환기의 방향과 습식공기정화기의 설치 방향이 수직이기 때문에 습식공기정화기에서 배출되는 공기가 처마아래의 입기구에서 유입되는 공기의 영향을 많이 받은 결과로 보인다.

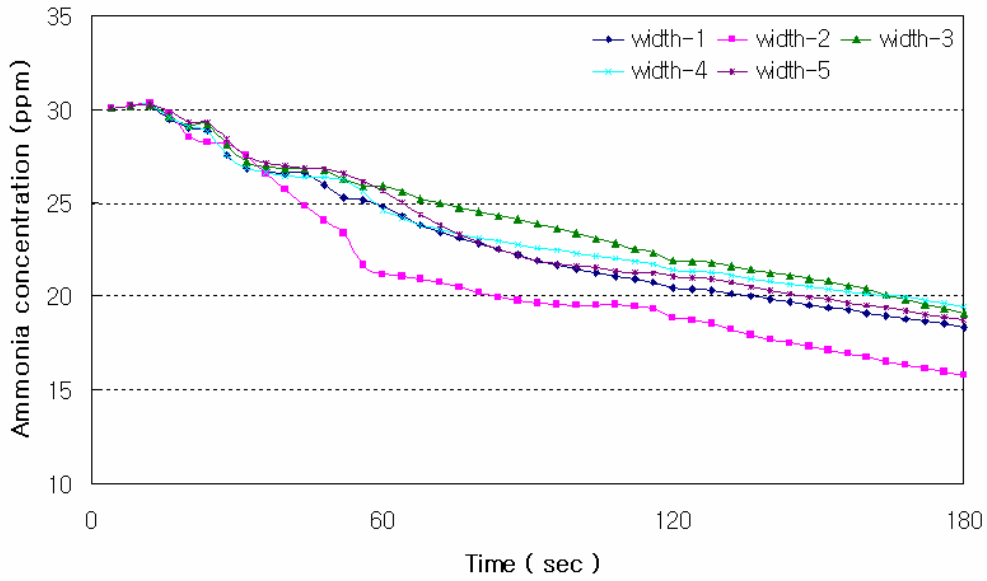


Fig. 57 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 1 in the direction of width, pig house A

Case 1은 습식공기정화기가 기존의 폭방향의 기류에 수직방향으로 정화된 공기를 배출하였기 때문에 효과가 멀리까지 퍼지지 않는 기류를 보였다. 또한 초기의 암모니아의 약 32.6 %를 제거함으로써, Case 0과 비교하여 암모니아 가스의 농도를 7.7% 더 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 돼지 높이와 센서 높이의 암모니아 농도의 편차가 0.6 ppm로 약 5배 정도 균일해진 결과를 보였다.

3) Case 2

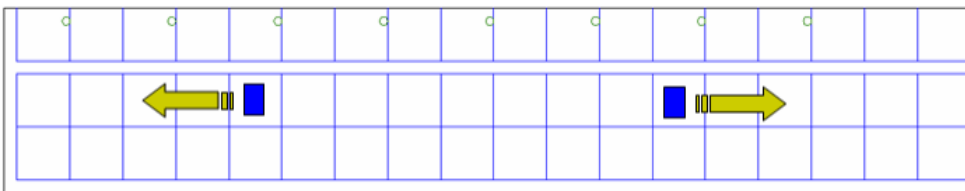


Fig. 58 Location and direction of wet air cleaner in case 2, pig house A

그림 59는 Case 2에 대한 시간별 온도 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. Case 2는 그림 58에 도시한 것과 같이 Case 1과 같은 위치에 습식공기정화기를 설치한 후

습식공기정화기에서 배출되는 공기의 방향을 서로 반대로 한 구조를 시뮬레이션 한 것이다. 이 경우 각 습식공기정화기가 돈사의 절반씩을 담당하여 '∞' 모양으로 공기가 순환하도록 계획한 구조이다. 돼지 높이의 평균 온도는 18.8℃ 로써 습식공기정화기가 설치되지 않은 경우보다 약 0.4℃ 감소하였으나 비육돈의 적정 환경온도에 부합하는 것으로 나타났다. 양쪽 출입문을 향하여 공기가 순환된 후 가운데로 몰리도록 유동장을 유도하여 돈사의 가운데가 상대적으로 온도가 높은 경향을 나타내었다.

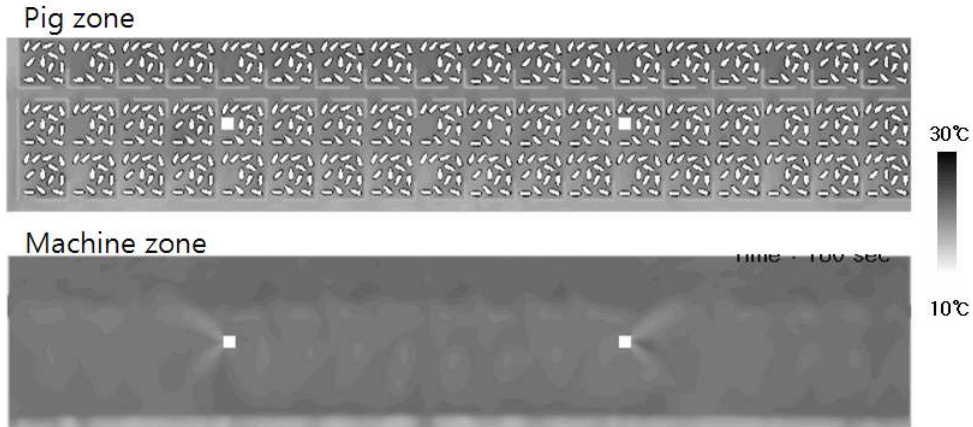


Fig. 59 Temperature distribution according to the height in case 2, pig house A

그림 60은 Case 2에 대한 암모니아의 감소를 높이에 따라 나타낸 것이다. 결과는 Case 1 과 마찬가지로 습식공기정화기에서 정화된 공기의 배출 방향이 환기의 방향과 서로 수직을 이루기 때문에 그 효과가 멀리까지 영향을 주지 않는 경향을 보였다. 따라서 습식공기정화기에서 배출되는 공기의 영향을 직접 받는 인근의 농도는 상대적으로 직접적인 영향을 받지 못한 돈사 가운데 부분보다 약 4ppm 정도 낮은 수치를 보였다. 또한 암모니아가스를 양 끝벽 쪽으로 밀어 넣으로써, 양 끝벽 부근의 농도가 상대적으로 높았다. 기계 높이의 경우 양쪽으로 멀리까지 희석이 진행되는 반면 돼지 높이에서는 돼지와 구조물 등의 영향으로 인하여 효과가 빨리 퍼지지 않는 결과를 보였다. 그러나 두 대의 습식공기 정화기가 서로 다른 방향으로 정화공기를 배출함으로써 그 효과가 중첩되지 않아 돼지 높이에서의 암모니아 농도가 Case 0 에 비하여 약 2ppm 이 낮은 가장 좋은 결과를 보였다.

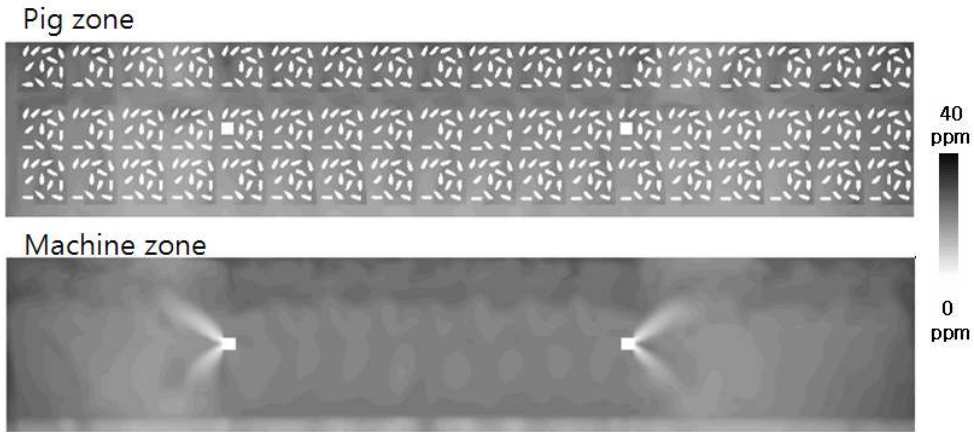


Fig. 60 Ammonia distribution according to the height in case 2, pig house A

그림 61은 Case 2에 대한 암모니아 농도의 변화를 길이방향으로 평균한 결과이다. width-2,3,4의 돈사 중앙부의 암모니아 농도의 감소는 대체로 비슷한 경향을 보였으며, 3분 후 약 35.3%가 감소하는 결과를 보였다. 그러나 양 끝벽에 위치한 width-1과 width-5의 경우 각각 39.9%, 46%의 감소로 최대 10.7% 차이를 보였다. 길이 방향으로서는 배기구에 가까운 length-1의 경우 입기구에 가까운 length-3에 비하여 약 11.3% 더 농도가 높은 것으로 나타났다.

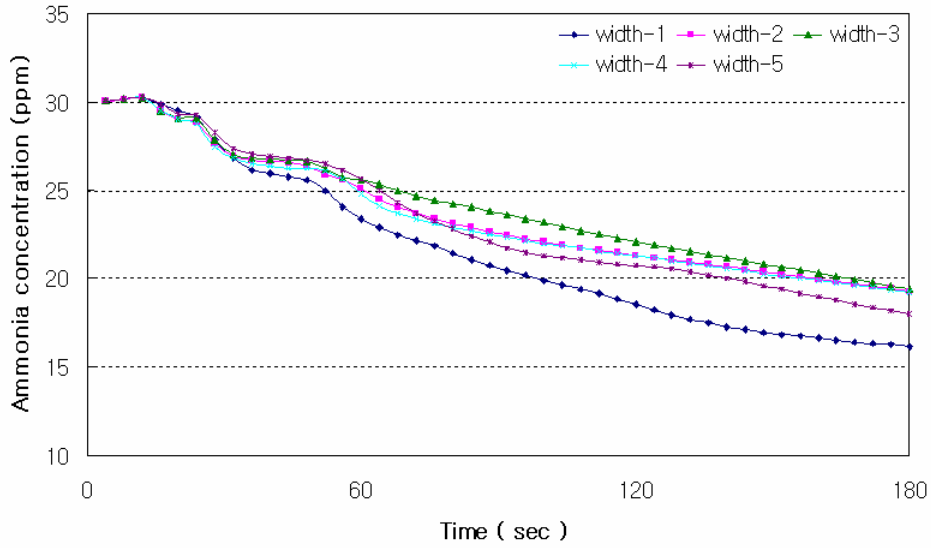


Fig. 61 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 2 in the direction of width, pig house A

Case 2는 습식공기정화기를 서로 반대방향으로 설치하여 정화된 공기가 직접 만나지 않도록 하였다. 이 경우 정화된 공기는 양 끝벽으로 배출되면서 상대적으로 농도가 높은 공기를 중앙으로 모으고 습식공기정화기는 중앙에 모인 공기를 유입하여 정화시키는 유동장을 보이고 있다. 따라서 장치 효율성 측면에서 가장 좋은 결과를 보여 습식 공기정화기가 설치되지 않은 Case 0에 비하여 약 15.3 % 더 암모니아의 농도가 감소 되는 것으로 나타났다.

4) Case 3

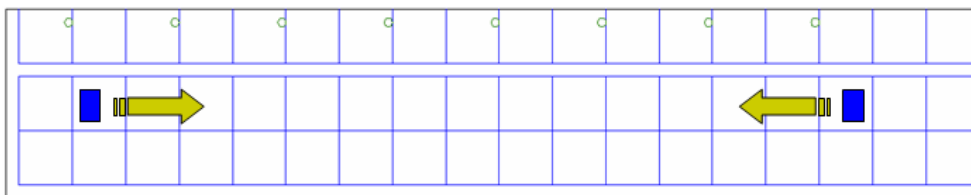


Fig. 62 Location and direction of wet air cleaner in case 3, pig house A

그림 63은 Case 3에 대한 온도 분포의 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. Case 3의 경우 중앙부에 암모니아 농도의 감소 효과가 떨어지는 것으로 예상하여 이를 보완

하기 위하여 양 끝벽에서 중앙부를 향하여 환기의 방향에 수직으로 정화된 공기를 배출하는 구조를 고려하였다. 돼지 높이에서의 평균 온도는 19.2℃로 Case 0 과 거의 비슷하였으며, 이 경우 처마아래의 입기구를 통하여 유입되는 신선한 공기와 더불어 양 끝에 설치된 습식 공기 정화기가 공기를 중앙부로 집중시킴으로써 그림 63과 같이 양쪽 끝에 설치된 습식공기정화기의 중심부를 기준으로 대칭적인 온도 분포를 보였다.

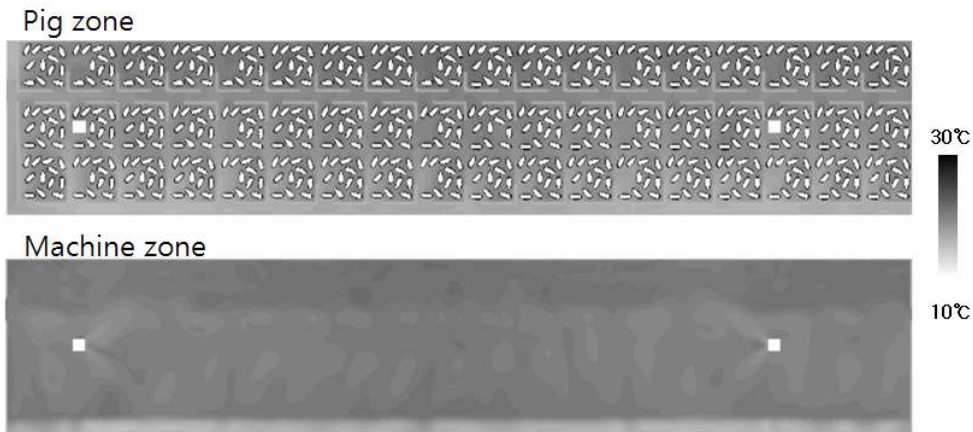


Fig. 63 Temperature distribution according to the height in Case 3, pig house A

그림 64는 Case 3에 대한 암모니아의 농도 분포를 높이별로 나타낸 것이다. 기계 높이의 경우 처마아래의 입기구를 통하여 유입되는 신선한 공기와 더불어 양 쪽 끝에 설치된 습식공기정화기에서 분출되는 신선한 공기가 중앙으로 퍼져나가면서 비교적 균일한 농도 분포를 보였다. 그러나 돼지 높이의 경우 인접한 돈방에서는 농도가 빠른시간 동안 감소하는 반면 중앙부에는 최대 16.3% 농도가 더 높은 결과를 보였다. 또한 양 쪽 끝벽의 경우 습식공기정화기의 효과가 직접적으로 미치지 않기 때문에 상대적으로 농도가 높은 결과를 나타냈다. 또한 Case 1과 Case 2의 경우 습식공기정화기가 벽을 향하는 반면 Case 3의 경우 습식공기정화기가 중앙부를 향하기 때문에 충분히 퍼져나가는 거리를 확보하여 상대적으로 습식공기정화기의 효과가 더 멀리까지 영향을 미치는 것으로 나타났다.

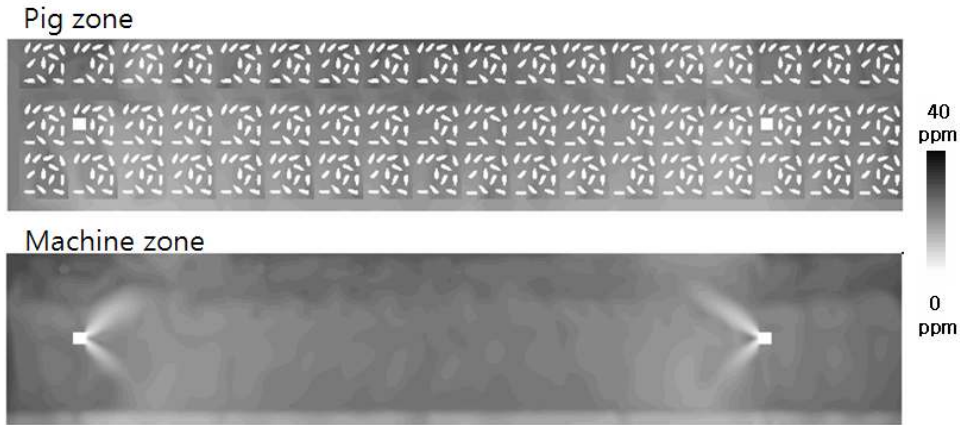


Fig. 64 Ammonia distribution according to the height in Case 3, pig house A

그림 65는 Case 3에 대한 암모니아 농도의 변화를 길이방향으로 평균한 결과이다. 중앙부의 암모니아 농도의 감소는 양 끝에 비하여 16.3% 더 적어 균일성에 문제가 있는 것으로 나타났다. 그러나 길이 방향으로는 상대적으로 농도의 편차가 적은 분포를 보였다. 초기에는 암모니아의 농도가 유입구 부분에서 먼저 감소하였으나 시간이 지남에 따라 폭방향으로는 다소 균일한 경향을 보였다.

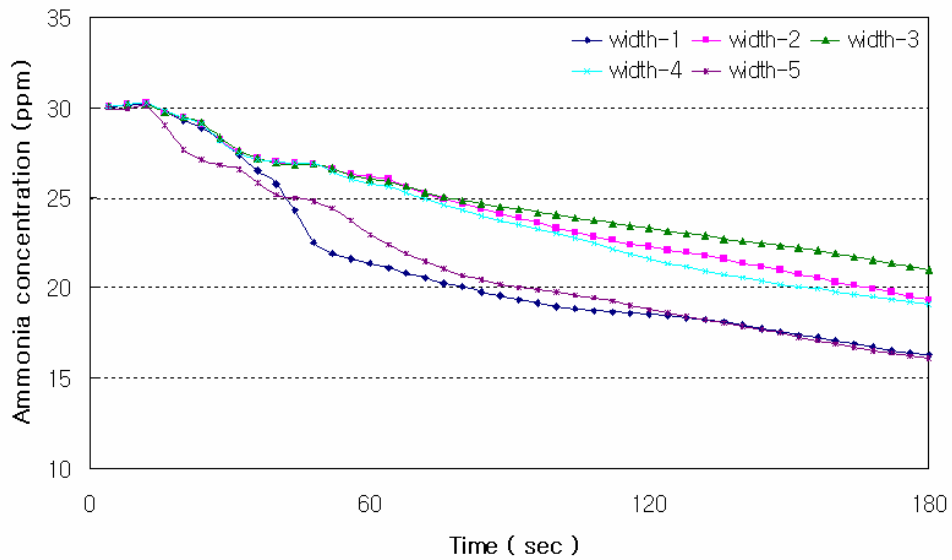


Fig. 65 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 3 in the direction of width, pig house A

Case 3의 경우 양 끝벽에서 가운데로 정화된 공기를 배출하는 구조로 상대적으로 습식공기정화기에서 멀리 떨어진 pp1-3, pp2-3, pp3-3에서 농도가 평균보다 약 2.6ppm 높아 길이방향의 균일성이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 폭 방향으로 Case 0에 비하여 약 1.2배 균일성이 향상된 결과를 보였다. 장치 효율성 측면에서 Case 0에 비하여 7.0% 더 암모니아 농도가 낮은 결과를 보였다.

5) Case 4

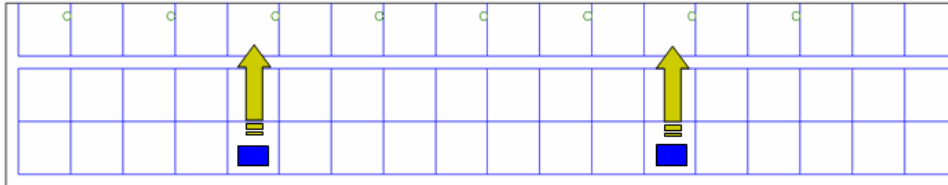


Fig. 66 Location and direction of wet air cleaner in case 4, pig house A

그림 67은 Case 4에 대한 시간별 온도의 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. Case 4는 그림 66에서와 같이 환기가 이루어지는 방향과 같은 방향으로 습식공기정화기를 설치하여 습식 공기정화기가 환기 구조적 유동장에 영향을 미치지 않도록 설계한 것이다. 돼지 높이에서의 평균 온도는 약 19.23°C로 비육돈의 적정환경온도에 부합하였다. 처마아래의 입기구 부분의 온도는 유입되는 공기의 영향으로 다소 낮았으며, 습식공기정화기를 중심으로 대칭적인 경향을 보였다.

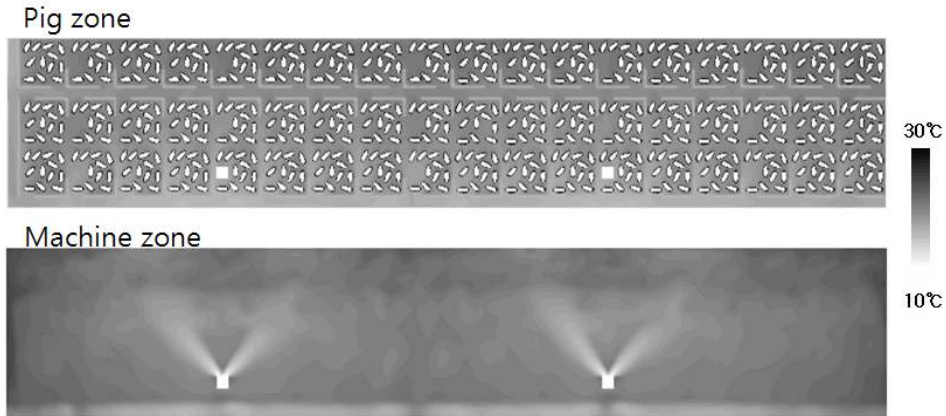


Fig. 67 Temperature distribution according to the height in Case 4, pig house A

그림 68은 Case 4에 대한 암모니아 농도의 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. 기계 높이는 습식공기정화기에서 배출되는 공기의 흐름이 돈사의 환기 구조적 유동장의 방향과 평행하게 이루어지므로 멀리까지 효과가 미치는 것으로 보인다. 때문에 습식공기정화기를 환기 구조적 유동장의 방향과 수직으로 배치하는 경우와는 다르게 전체 돈사에 고르게 효과를 미치는 것으로 보인다. 또한 돼지 높이와 센서 높이의 평균 농도 차이가 0.7ppm으로 Case 0에 비하여 약 4.3배 균일한 결과를 보였다. 그러나 이 경우 양 끝벽으로 습식공기정화기의 효과가 효과적으로 전달되지 못하여 암모니아 농도가 높은 부분도 볼 수 있었다.

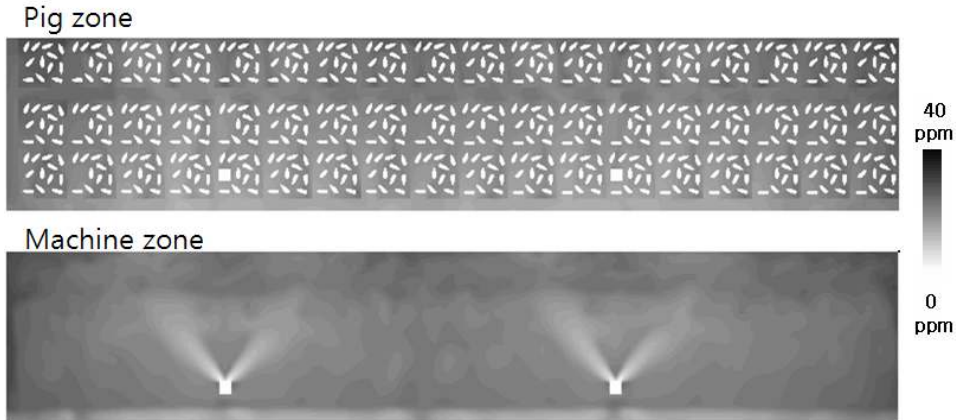


Fig. 68 Ammonia distribution according to the height in case 4, pig house A

그림 69는 Case 4에 대한 암모니아 농도의 변화를 길이방향으로 평균한 결과이다. 폭방향의 경우 암모니아 농도의 감소가 균일하게 이루어지는 결과를 보였으며, 중앙부와 양 끝부분의 농도 편차가 약 8.8 %로 상대적으로 균일한 결과를 보였다. 길이방향의 결과를 비교 할 경우도 역시 환기에 의한 영향으로 초기에는 입기구의 농도가 빨리 감소하지만, 시간이 지남에 따라 암모니아 농도가 비교적 균일하게 감소하여 길이방향으로 2ppm 이내의 편차를 보였다.

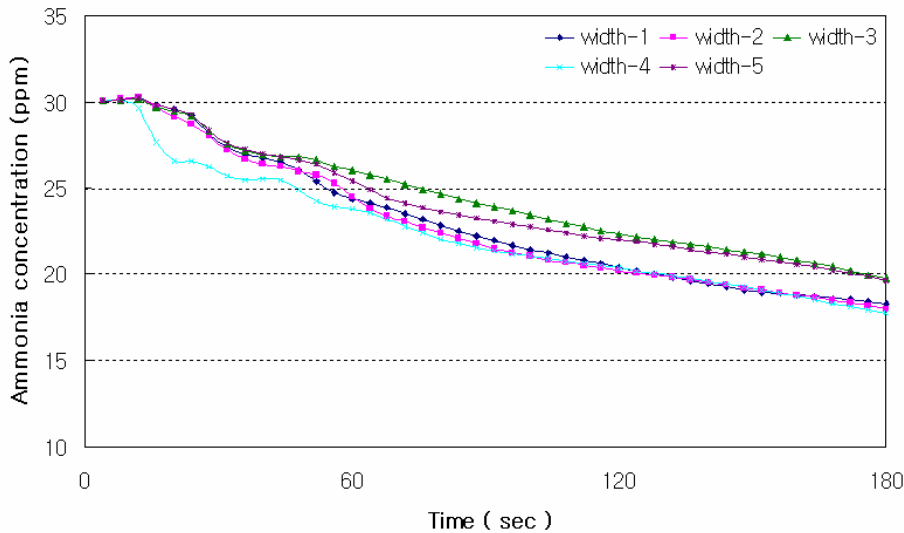


Fig. 69 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 4 in the direction of width, pig house A

Case 4는 기존의 돈사의 환기 구조적 유동장을 최대한 효과적으로 이용하여 습식공기정화기의 효과가 멀리까지 직접적으로 미칠 수 있었다. 특히 다른 구조에서는 최대 12.7% 까지 발생하는 폭방향의 암모니아 농도의 편차를 8%로 줄이는 등 폭방향으로 균일성을 향상시키는데 효과가 있었다. 장비 효율성의 경우 기존의 Case 0 에 비하여 암모니아의 농도가 5.7% 더 감소하는 효과를 보였다.

6) Case 5

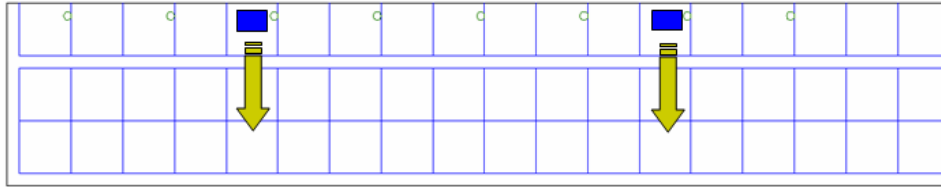


Fig. 70 Location and direction of wet air cleaner in case 5, pig house A, pig house A

그림 71은 Case 5에 대한 시간별 온도의 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. Case 5는 그림 70과 같이 배기구쪽에 습식공기정화기를 설치하여 입기구 방향으로 정화된 공기를 배출함으로써 환기에 의한 효과와 습식공기정화기에 의한 효과가 돈사 전체에 적절히 혼합되어 균일성을 향상시키기 위하여 설계한 설치 방법이다. 이 경우 온도의 분포는 환기에 의하여 처마아래의 입기구로 들어오는 공기와 습식공기정화기에 의하여 배출되는 공기가 중앙에서 만나는 분포를 보인다. 돼지 높이에서의 평균 온도는 약 19.2℃로 Case 0과 비슷한 분포를 보였다.

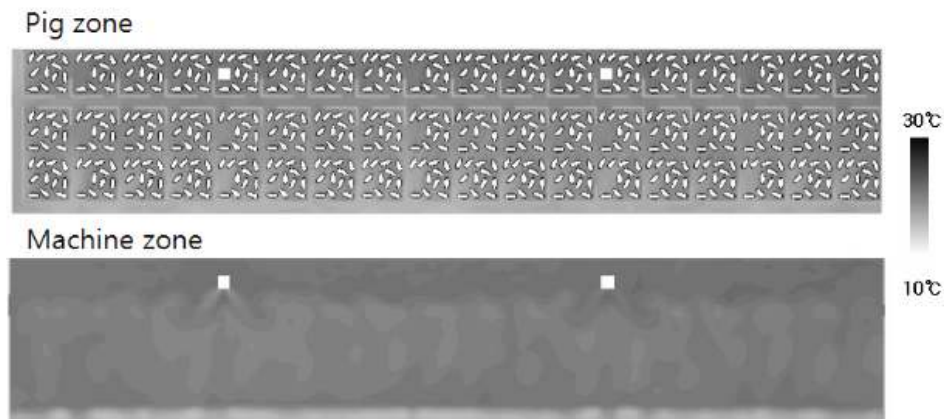


Fig. 71 Temperature distribution according to the height in case 5, pig house A

그림 72는 Case 5에 대한 시간별 암모니아 농도의 감소를 높이에 따라 나타낸 것이다. 기계 높이의 시간에 따른 변화에서, 처마아래의 입기구로 유입되는 공기와 습식공기정화기에 의하여 배출되는 공기가 가운데 열에서 만나 혼합됨으로써 습식공기정화기

의 효과가 비교적 균일하게 돈사 전체에 영향을 주는 경향을 보였다. 그러나 습식공기정화기가 정화된 공기를 분출하는 뒷공간에는 습식공기정화기의 효과와 함께 환기의 효과를 제대로 받지 못하여 상대적으로 농도가 높은 경향을 보였다. 그러나 그 외의 지역에서는 대체로 균일한 농도분포를 보였다. 가운데 열에 위치한 센서의 데이터들은 대체로 감소하여 3분후에는 최대 허용한계인 20ppm에 비하여 평균 약 3.1ppm 더 낮은 농도를 보였다. 특히 돈사의 환기 구조적 유동장과 습식공기정화기의 유동장이 혼합되는 가운데 열의 경우 농도의 감소차이가 2% 미만으로 균일성이 매우 향상된 결과를 보였다.

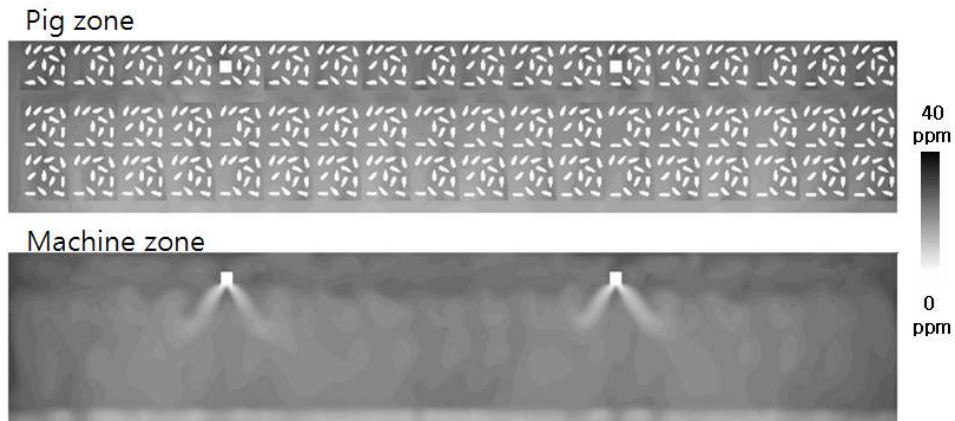


Fig. 72 Ammonia distribution according to the height in case 5, pig house A

그림 73은 Case 5에 대한 암모니아 농도의 변화를 길이방향으로 평균한 결과이다. 길이방향의 균일성은 최대 편차가 약 2.8%로 매우 좋은 결과를 보였다. 또한 감소하는 경향 역시 전체적으로 고른 분포를 보였다. 폭방향으로는 배기구에 위치한 영역이 입기구에 위치한 영역보다 약 12.4% 농도가 적게 감소한 결과를 보였다. 이는 습식공기정화기의 위치상 배기구쪽의 가스 농도 감소 효과가 다소 떨어지기 때문으로 판단된다.

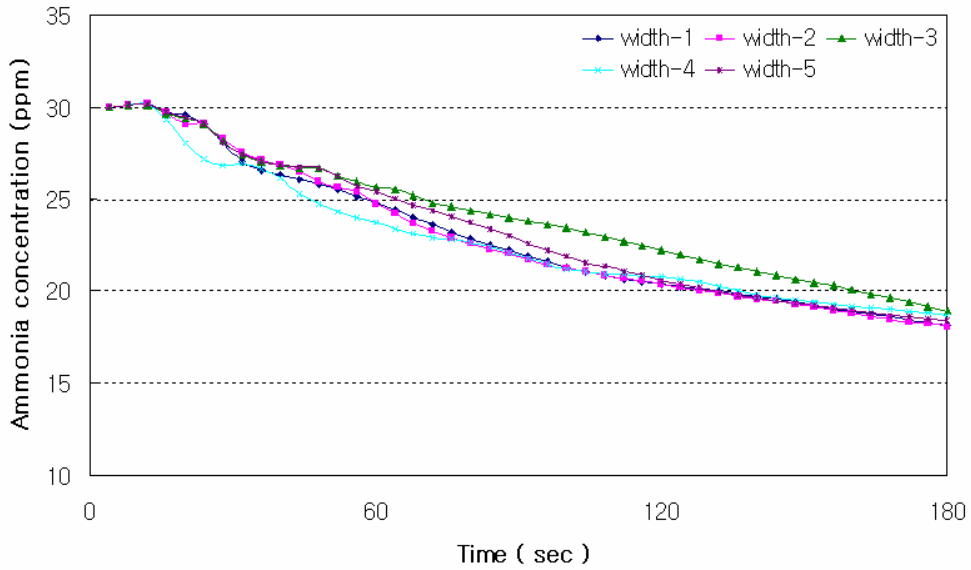


Fig. 73 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 5 in the direction of width, pig house A

Case 5는 처마아래의 입기구를 통하여 들어온 신선한 공기가 돈방을 통과하면서 암모니아의 농도가 상승하여 배기구 근처에서 가장 높아지기 때문에 전체적인 균일성을 향상시키기 위하여 배기구에서 입기구 쪽으로 정화 공기를 배출시키는 방법을 사용한 경우이다. 입기구를 통하여 유입되는 공기와 정화된 공기가 가운데 열에서 만나 돈사 전체로 퍼져 길이방향의 균일성이 Case 0에 비하여 약 5.4배 증가하는 결과를 보였다. 그러나 농도의 감소가 가운데 열로 집중되기 때문에 폭방향의 균일성은 1.2배 나빠지는 결과를 보였다. 장치 효율성은 Case 0과 비교하여 암모니아 가스의 농도가 6.3% 감소하는 결과를 보였다.

7) Case 6

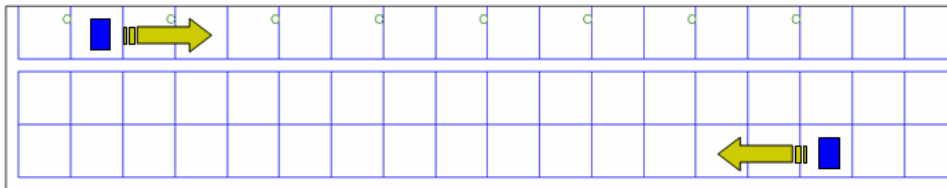


Fig. 74 Location and direction of wet air cleaner in case 6, pig house A

그림 75는 Case 6에 대한 온도의 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. Case 6은 그림 74와 같이 내부의 공기가 시계방향으로 순환하는 것을 가정하여 습식공기정화기를 설치한 것이다. 돼지 높이에서의 평균 온도는 약 19.24℃로 Case 0 와 거의 비슷한 값을 보였다. 기계 높이에서와 같이 공기가 순환됨으로써 습식공기정화기의 뒷공간에 발생하였던 온도가 높은 부분을 시간이 지남에 따라 효과적으로 상쇄시키는 경향을 보였다.

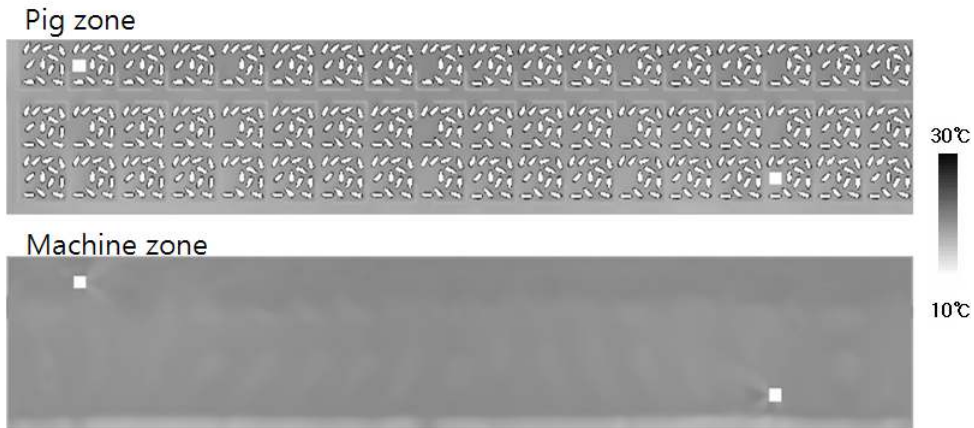


Fig. 75 Temperature distribution according to the height in case 6, pig house A

그림 76은 Case 6에 대한 암모니아 농도의 변화를 높이에 따라 나타낸 것이다. 암모니아 농도의 경우 다른 Case 들에 비하여 전체적인 균일성은 향상된 결과를 보였다. 특히 공기가 입기구와 배기구에서 지속적으로 움직임으로써, 입기구와 배기구 부분의 농도 편차가 많이 감소한 경향을 보였다. 그러나 습식공기정화기가 설치된 뒷 공간까지 습식공기정화기에서 배출되는 공기가 뺏어나가지는 못하여 양 끝 벽 쪽의 농도가 다소 높은 결과를 보였다. 또한 전체적으로 공기가 순환하면서 섞이기 때문에 돼지 높이에서의 암모니아의 평균 농도는 20.5ppm으로 3분동안 최대 허용한계인 20ppm 이하로 떨어지지 못하였다.

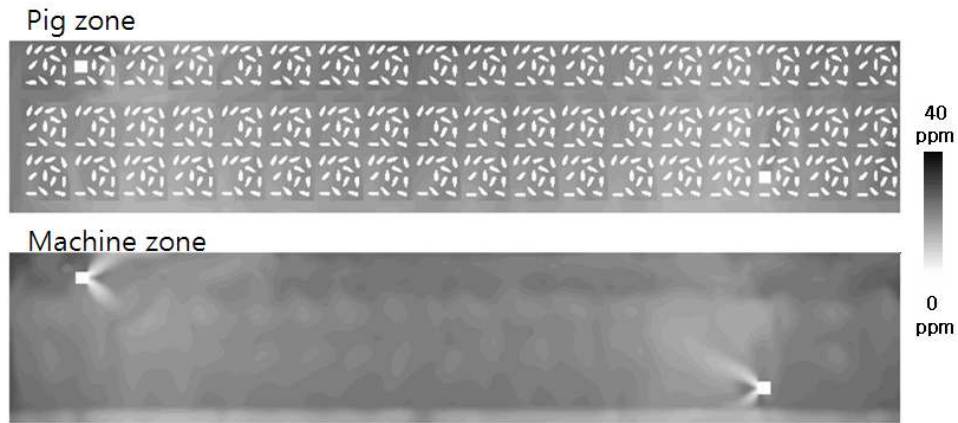


Fig. 76 Ammonia distribution according to the height in case 6, pig house A

그림 77은 Case 6에 대한 암모니아 농도의 변화를 길이방향으로 평균한 결과이다. 특히 폭방향의 경우 농도의 감소 추세가 매우 안정적이며 균일한 결과를 보였으며, 3분후의 편차가 약 2.5% 가장 균일한 결과를 보였다. 길이 방향의 경우는 다른 Case 등과 같이 약 10%의 편차를 보였다. 그러나 전체적으로 농도의 감소 경향이 가장 안정적이었으며, 농도의 편차가 가장 균일한 결과를 보였다.

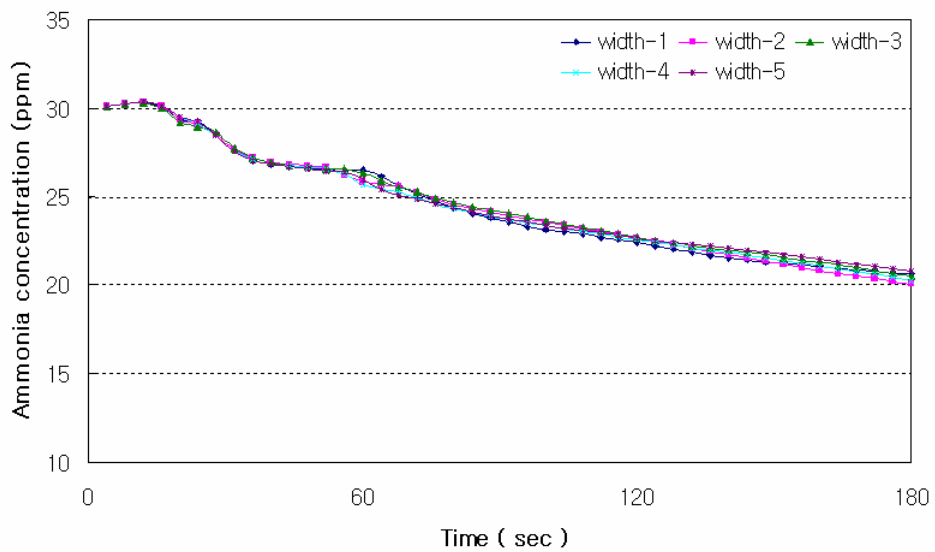


Fig. 77 Decrease of ammonia concentration at pig zone in Case 6 in the direction of width, pig house A

Case 6은 내부의 공기를 습식공기정화기를 사용하여 균일하게 순환시킴으로써 폭방향의 경우 Case 0에 비하여 약 8.8배 균일성이 향상되는 결과를 보였다. 그러나 전체적인 장치의 효율성은 다른 Case들에 비하여 가장 낮아 암모니아 가스의 농도를 5.3% 절감시키는데 그쳤다.

8) 돈사 A의 습식공기정화기 위치에 따른 효율성 종합 평가

습식공기정화기를 설치하지 않은 돈사를 대상으로 수행한 시뮬레이션의 결과 대체로 환기 구조적 유동장과 같은 방향으로 농도 및 온도의 구배가 형성되는 것으로 나타났다. 기본적으로 형성되어 있는 유동장을 효과적으로 이용하여 습식공기정화기의 성능을 향상시키기 위해서는 Case 4와 같이 유입구에서 유출구 쪽으로 정화된 공기를 배출시키는 것이 적절하다고 사료된다. 또한 이 경우 폭방향의 환기 효율성을 극대화시키기 때문에 처마아래 입기구의 돈방과 배기구의 돈방에 발생하였던 기존의 편차를 죽여 약 1.33배의 폭방향 균일성 향상의 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 길이방향의 경우 Case 6 과 같이 전체 공기를 순환시키는 것이 더 효과적이나 공기가 섞임으로써 암모니아 농도의 희석 효과는 다소 떨어지는 것으로 사료된다. 돈사 내부의 암모니아 가스의 절대적인 감소를 목표로 하였을 때, 가장 효과적인 구조는 Case 2와 같이 농도가 높은 공기를 한곳으로 집중시키는 유동장의 형태가 적합하다고 생각된다. 이 경우 습식공기정화기의 장치 효율성이 15.3%로 다른 구조들 보다 약 2배가량 성능을 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

나. 돈사 B의 습식공기정화기 설치 위치에 따른 환기 효율성 분석

실험 돈사 B는 350 두 규모로 지붕에 설치되어 있는 팬이 설치된 덕트를 통하여 내부의 공기가 배기되고 양 측벽에서 지붕 방향으로 설치되어 있는 파이프를 통하여 입기되는 음압식 환기 구조를 사용하고 있다. 검증된 CFD 모델을 사용하여 습식공기정화기가 효과적으로 사용될 수 있는 위치 및 방향을 결정하기 위하여 습식공기정화기가 없는 경우를 포함한 6가지 구조에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. Tracer gas decay 법을 사용하여 환기량을 계산하였으며, 환기 수행 초기에 돈사 내부의 온도는 25℃, 암모니아 농도는 30ppm 이 가득 차 있다고 가정하였으며, 30년간의 기상 데이터를 참고하여 외부에서 들어오는 공기는 동절기를 기준으로 -2.6℃, 상대 습도 60%로 가정하였다. 각 구조에 대하여 환기 시작 후 3분 동안의 온도와 습도, 암모니아 농도 및 환기량을 비교하였다. 온도와 농도의 분포는 각 구조별, 시간별로 돼지 높이와 기계 높이에서 1분 간격으로 총 3분 동안 분석하였다. 돼지 모델의 경우 실제와 비슷한 결과를 위하여 돼지의 크기에 따라서 수십 cm 정도 떨어지도록 하였다. 따라서 돼지의 크가 위치할 것으로 예상되는 0.3m 를 돼지 높이로 설정하였다. 또한 공기 정화

기의 경우 유입구의 덕트 부분을 제외한 전체 높이를 2m 로 가정하였을 때, 정화 공기 배출구의 중심선이 위치하는 1.8m 를 기계 높이로 설정하였다. 모든 온도, 습도, 암모니아 농도, 환기량 등의 결과는 점측정의 우연성을 줄이기 위하여 각 돈방별로 부피 평균을 하여 비교하였다.

1) Case 1

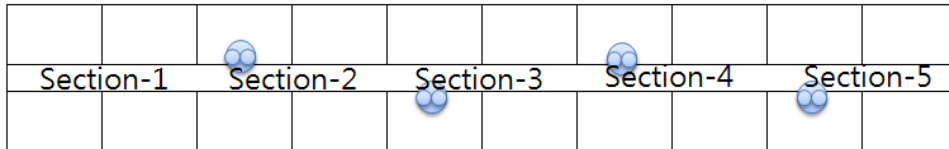


Fig. 78 Location and direction of wet air cleaner in case 1(without cleaner), pig house B

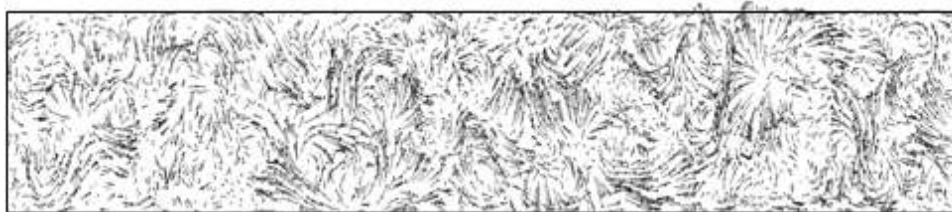


Fig. 79 Air flow at 1.8m height(machine zone) in case 1, pig house B

그림 78은 돈사 B의 습식공기정화기의 성능을 평가하기 위한 대조군으로 습식공기정화기를 설치하지 않았을 경우의 Case 1을 나타낸 것이다. 돈사의 환기가 지그재그 형태의 배기용 덕트와 지붕 방향의 파이프에 의하여 이루어지기 때문에 돈사 내부의 공기 흐름은 그림 79와 같이 어떠한 방향성을 보이지는 않고 있다. 다만 덕트의 영향이 중복되는 것으로 보이는 가운데 영역에서 유동장이 더 복잡하게 형성되며 와류가 많이 발생하여 내부의 공기가 정체되는 구간이 많이 발생할 것으로 판단된다. 이로 인하여 방향성을 가지고 공기가 흐르지 않아 환기 효율성은 떨어지는 결과를 보일 것으로 판단된다. 그림 80은 온도의 분포를 !돼지 높이 (pig zone at 0.3m height)와 기계 높이 (machine zone at 1.8m height)에서 나타낸 것이다. 습식공기정화기가 설치되어 있지 않기 때문에 전반적으로 온도의 분포는 균일하게 나타났으며, 지붕에 설치되어 있는 배기용 덕트의 위치가 지그재그로 균일하지 않기 때문에 기류 역시 특별한 방향성을 나타내지 않았다. 시간에 따른 평균 온도는 22.9℃, 21.5℃, 20.3℃로 감소하여 동절기의 짧은 환기 시간을 감안하였을 때 안정성은 적절한 것으로 판단된다. 온도의 편차는 1.0℃로 길이방향으로 고른 분포를 나타내었다.



Fig. 80 Temperature distribution according to the height in case 1, pig house B

그림 81은 높이별 암모니아의 회석을 나타낸 것이다. 결과는 대체로 온도 분포와 비슷한 동향을 보였다. 이는 가스의 회석과 온도의 변화는 환기에 의한 공기의 이동을 주 메커니즘으로 하기 때문이다. 환기 구조적으로 신선한 공기가 지붕 아래 설치되어 있는 파이프를 통하여 들어오기 때문에 돈군으로 바로 영향을 주지 않아 암모니아 농도는 서서히 떨어지는 경향을 보였다. 또한 시뮬레이션 상에서 돈방의 바닥에서 암모니아가 발생하는 것으로 가정하였기 때문에 상대적으로 복도 쪽에서부터 우선적으로 농도가 감소하는 경향을 보였다. 그림 82는 시간에 따른 암모니아 농도를 길이별로 나타낸 것으로, 평균 암모니아 농도는 26.58 ppm으로 3분 후 약 11.4%의 농도가 감소하였다. 온도의 분포와 마찬가지로 길이별 편차는 최대 1.59 ppm으로 매우 균일한 농도 분포를 나타내었으며, 돈사 전체의 농도는 26.42 ppm 로 나타났다. 이는 NIOSH (National institute of occupational safety and health)가 제시한 돼지의 생산성에 영향을 미치지 않는 기준은 11ppm의 약 2.4배로 유해가스에 대한 안정성에 다소 문제가 있는 것으로 판단된다.

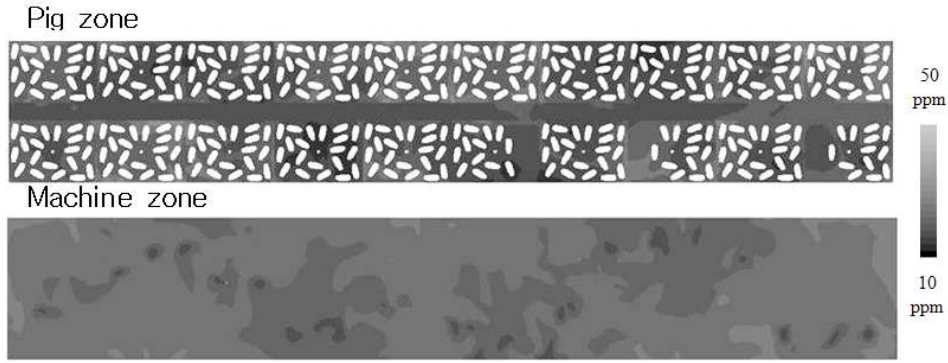


Fig. 81 Ammonia distribution according to the height in case 1, pig house B

그림 82는 동쪽에서부터 돈방 4개씩을 평균하여 총 20개의 돈방을 5개의 영역으로 분할하여 각각의 암모니아의 농도를 평균하여 감소하는 경향을 전체 돈사에서 감소하는 암모니아의 농도와 함께 도시한 것이다. 환기 초기에는 신선한 공기가 파이프를 통하여 돈사 상부로 유입된 후 천천히 돈군으로 떨어지기 때문에 암모니아의 농도는 상승하는 경향을 보였다. 모든 영역에서 암모니아의 농도는 비교적 균등한 분포를 나타내고 있었다. 환기량 계산 결과 전체 환기량은 0.0436 AER로 설계 환기량인 0.070 AER의 약 62%의 성능만이 발휘된 것으로 나타났다. 이는 환기 구조가 음압식으로 설계되어 있기 때문에 실제 팬의 성능이 100% 구현되지 않았기 때문이다. 돈방의 경우 환기량은 0.0485로 전체 환기량에 비하여 약 11.2% 더 높은 수치를 보였다. 지역적으로는 영역 2와 영역 4에서 환기량이 각각 0.0541 AER, 0.0562 AER로 돈방의 평균에 비하여 약 13.7% 높게 나타났다. 이는 영역 2와 영역 4의 경우 배기용 덕트의 영향을 중복하여 받기 때문으로 판단된다.

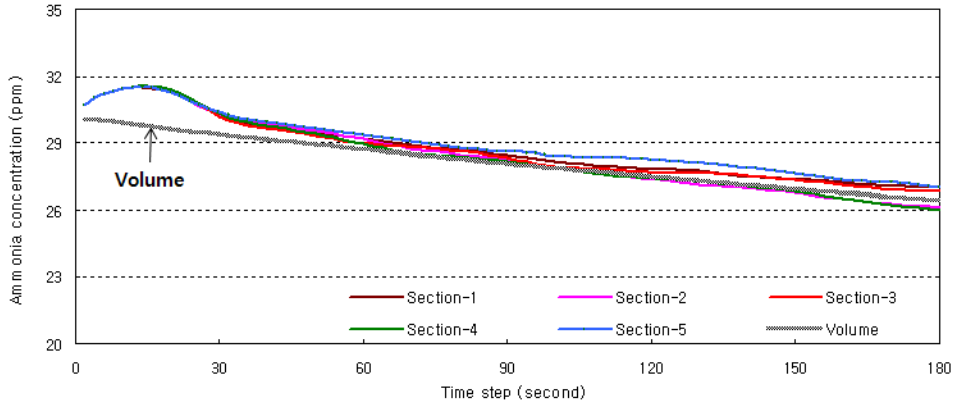


Fig. 82 Dilution of ammonia concentration at each section in case 1, Pig house B

2) Case 2

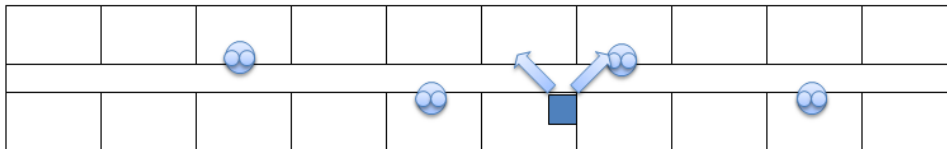


Fig. 83 Location and direction of wet air cleaner in case 2, pig house B

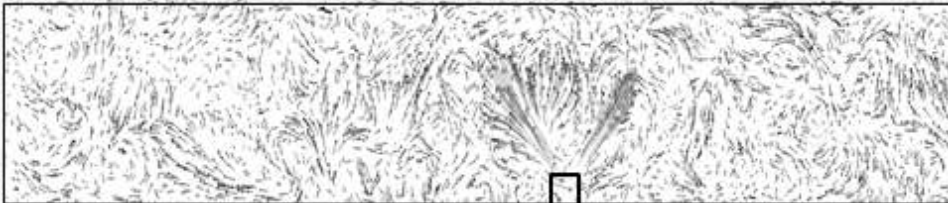


Fig. 84 Air flow at machine zone in case 2, pig house B

그림 83은 돈사 B의 Case 2에 대한 구조를 도시한 것으로 현재 실험돈사에 설치되어 있는 습식공기정화기의 배치와 같도록 한 구조이다. 습식공기정화기의 상단부의 유입구로 유입된 내부의 오염된 공기는 내부에서 정화되어 그림 83의 화살표와 같은 45

도 방향으로 배출되도록 설계하였다. 정화된 공기는 잠열을 고려하여 온도가 절대 온도를 기준으로 약 0.6% 감소하도록 설계하였다. 이는 섭시 온도로 고려될 경우 약 8%에 해당하는 수치이다. 또한 암모니아 농도는 현장실험을 고려하여 약 11%의 가스가 제거되는 것으로 가정하였으며, 습도는 절대 습도를 기준으로 하여 약 5%가 증가하는 것으로 설계하였다. 유동장은 그림 84와 같이 기계를 기준으로 유출구 방향인 가운데 영역에 집중되어 있다. 그림 85는 Case 1에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후의 돈방에서의 평균 온도는 19.74℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 2.7% 정도 감소한 수치이다. 이는 습식공기정화기로 들어오는 공기의 경우 증발 잠열에 의하여 유출 공기의 온도가 유입 공기의 온도보다 떨어지기 때문이다. 습식공기정화기에서 나오는 설계 유량이 약 50 m³/분이며 이를 환기량으로 환산하면 약 0.036 AER이지만 실제로는 특정 지역에 집중되어 있기 때문에 전체적인 온도의 변화는 크게 발생하지 않았던 것으로 판단된다. 따라서 그림 85와 같이 습식공기정화기의 유출구 방향으로 온도가 집중적으로 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 습식공기정화기가 설치되어 있는 서쪽 출입구에서 6번째 돈방과 덕트의 영향을 많이 받는 것으로 예상되는 4번째, 6번째 열의 온도가 평균에 비하여 약 0.5℃ 정도 낮은 결과를 보였다. 온도의 지역적인 편차는 약 1.36℃로 Case 1에 비하여 약 33.3% 균일성이 감소하는 결과를 보였다.

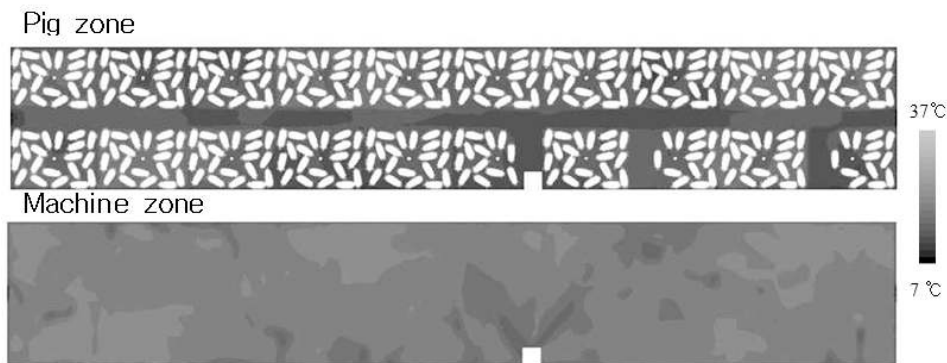


Fig. 85 Temperature distribution according to the height in case 2, pig house B

습식공기정화기에 의하여 변화하는 온도의 크기에 비하여 암모니아 농도의 크기가 크기 때문에 지역에 따른 농도의 분포가 더욱 분명하게 나타났다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.5% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 3.2%가 감소하였다. 환기에 의한 기류가 돈사의 상부에 집중되어 있기 때문에 돈방의 암모니아 가스 제거 효과가 다소 늦게 나타나기 때문으로 판단된다. 습식공기정화기에서

배출되는 신선한 공기의 영향은 예상보다 멀리까지 뺏어가지 못하고 설치된 돈방 전후의 1칸 정도까지 영향을 주는 것으로 나타났다. 암모니아 농도의 균일성은 Case 1에 비하여 약 31.4% 떨어지는 결과를 보였다. 이는 습식공기정화기가 환기의 효과가 비교적 높은 가운데에 설치되어 있기 때문으로 판단된다. 또한 습식공기정화기와 배기용 덕트의 효과를 직접적으로 받는 가운데 부분에 비하여 양 끝쪽의 1, 2, 9, 10열의 암모니아 농도가 최대 약 8.4% 더 높은 결과를 보였다.

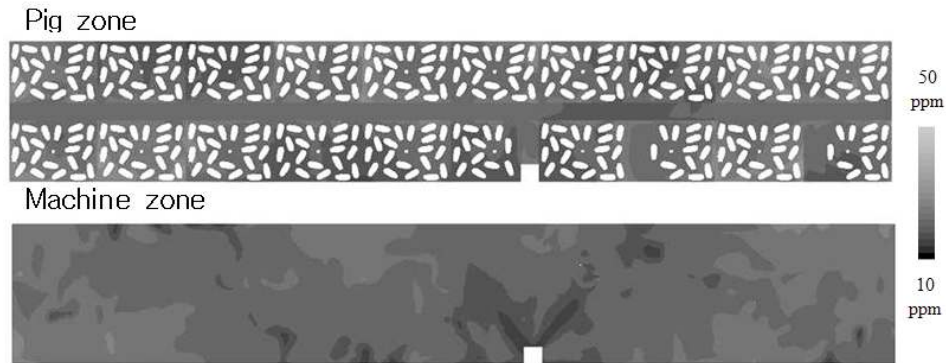


Fig. 86 Ammonia distribution according to the height in case 2, pig house B

그림 87은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 영역 1과 영역 5의 경우 습식공기정화기와 배기용 덕트의 영향을 적게 받기 때문에 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였다. 환기량 계산 결과, 영역 4가 0.0676 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 5가 0.0475 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 30%의 차이를 보였다. 환기의 효과는 전체 돈사를 기준으로 0.0553 AER로 Case 1에 비하여 약 26.8% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0596 AER로 돈사 전체보다 약 7.8% 높았으며 Case 1에 비하여 약 22.9% 향상되는 결과를 보였다.

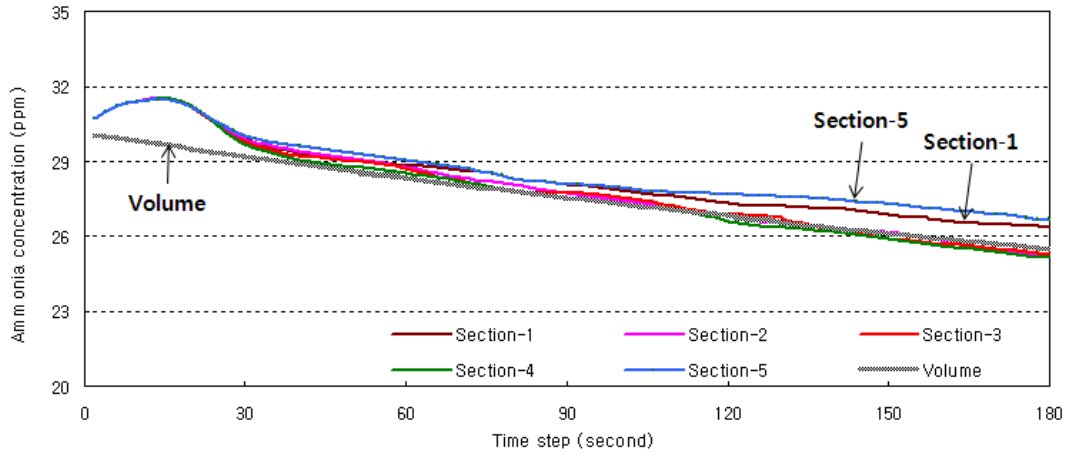


Fig. 87 Dilution of ammonia concentration at each section in case 2, Pig house B

3) Case 3

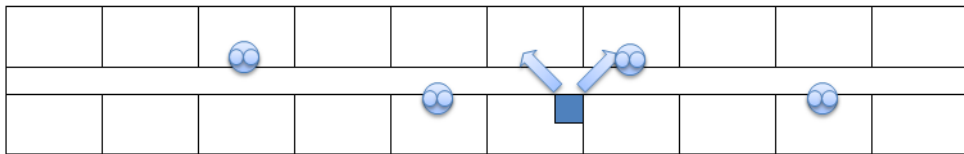


Fig. 88 Location and direction of wet air cleaner in case 3, pig house B



Fig. 89 Air flow at machine zone in case 3, pig house B

그림 88은 돈사 A 의 Case 3에 대한 구조를 도시한 것으로 현재 실험돈사에 설치되어 있는 습식공기정화기의 배치를 돈사의 복도 쪽으로 이동시킨 구조이다. 그림 89

와 같이 습식공기정화기를 중심으로 유동이 순환하는 형태를 보이고 있으며, 양 끝벽 쪽으로는 유동이 미약하여 환기량이 적을 것으로 예상된다. 그림 90은 Case 3에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 19.70℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 2.9% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 습식공기정화기 유출구 방향으로 돈사 가운데 영역으로 온도가 집중적으로 낮아지는 결과를 알 수 있었다. 또한 습식공기정화기가 설치되어 있는 6번째 열에서 온도가 19.11℃로 가장 낮았으며, 9번째 열에서 20.38℃로 가장 높아 최대 약 6.6%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 1.4% 균일성이 떨어지는 결과를 보였다.



Fig. 90 Temperature distribution according to the height in case 3

그림 52, 53은 Case 3에 대한 시간별 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.4% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 3.8%가 감소하였다. 습식공기정화기의 영향은 배출되는 신선한 공기가 직접적으로 영향을 주는 유출구 부분과 공기가 유입되는 습식공기정화기 주변에서 특히 더 낮았지는 결과를 보였으나 여전히 돈방 인근에만 영향이 직접적으로 나타났다. 그림 54는 시간에 따른 암모니아 농도의 변화를 길이별로 나타낸 것이다. 습식공기정화기에 의한 영향을 직접적으로 받는 6, 7열에서 암모니아 농도가 처음의 5.21, 5.57 ppm 이 감소하였으며, 양 측벽에서는 3.36 ppm 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 9.1%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 2.9% 감소하는 것으로 나타났다.

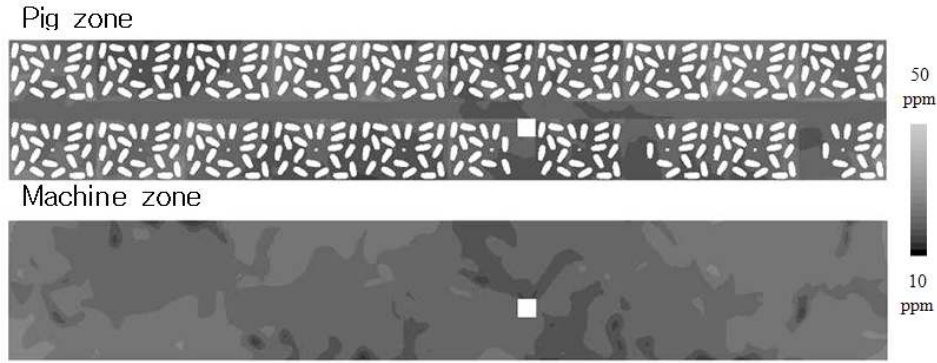


Fig. 91 Ammonia distribution according to the height in case 3, pig house B

그림 92는 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 영역 1과 영역 5의 경우 습식공기정화기와 배기용 덕트의 영향을 적게 받기 때문에 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 3, 4의 가운데 부분이 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 3이 0.0697 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 5가 0.0485 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 43.7%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 12.7% 감소한 결과이다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0547 AER로 Case 1에 비하여 약 25.5% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0612 AER로 돈사 전체 보다 약 11.9% 높았으며 Case 1에 비하여 약 26.2% 향상되는 결과를 보였다.

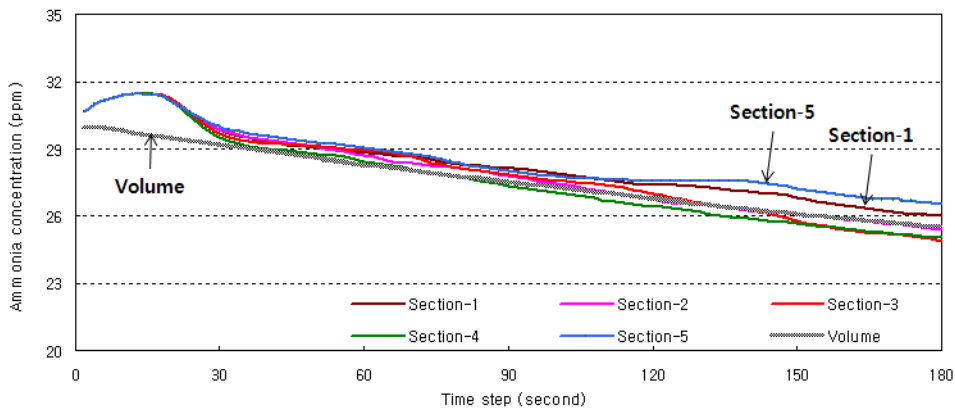


Fig. 92 Dilution of ammonia concentration at each section in case 3, Pig house B

4) Case 4

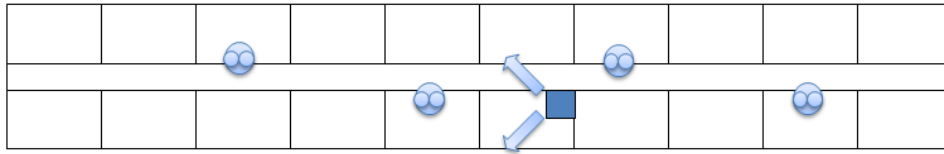


Fig. 93 Location and direction of wet air cleaner in case 4, pig house B

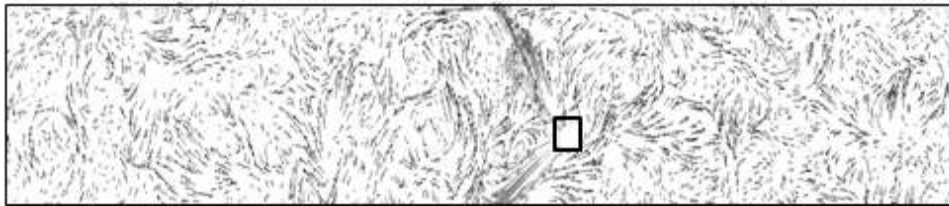


Fig. 94 Air flow at machine zone in case 4, pig house B

그림 93은 돈사 B의 Case 4에 대한 구조를 도시한 것으로 Case 3의 습식공기정화기의 배치를 유지한 채 정화된 공기가 나오는 유출구의 위치는 폭 방향이 아닌 길이 방향으로 이동시킨 구조이다. Case 4에서는 그림 94와 같이 습식공기정화기에서 배출되는 공기가 돈사의 서쪽으로 나가고 있다. 그러나 길이방향의 45도 방향으로 정화된 공기가 배출되기 때문에 양 측벽에 막혀 멀리까지 확산되지 않고 습식공기정화기 인근에만 큰 영향을 주고 있다. 그림 94는 Case 4에 대하여 시간별 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 19.66℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 3.1% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 습식공기정화기 유출구 방향으로 온도가 집중적으로 낮아졌으며 특히 남쪽 벽 쪽으로 배출되는 공기는 남쪽 벽에 의하여 멀리 뺏어나가지 못하여 특정지역의 온도를 낮게 떨어뜨리는 결과를 보였다. 또한 습식공기정화기가 설치되어 있는 6번째 열에서 온도가 19.11℃로 가장 낮았으며, 1번째 열에서 20.10℃로 가장 높아 최대 약 5.2%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 균일성이 떨어지지 않는 결과를 보였다.



Fig. 95 Temperature distribution according to the height in case 4, pig house B

그림 96은 Case 4에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.7% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 3.9%가 감소하였다. 습식공기정화기의 영향은 배출되는 신선한 공기가 직접적으로 영향을 주는 유출구 부분과 공기가 유입되는 습식공기정화기 주변에서 특히 더 낮았지는 결과를 보였다. 특히 습식공기정화기에서 남쪽 벽쪽으로 유출되는 신선한 공기의 영향으로 돈사 가운데 영역의 남쪽에서 온도가 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 또한 습식공기정화기에 의한 영향을 직접적으로 받는 6열에서 암모니아 농도가 처음의 5.59 ppm 이 감소하였으며, 1열에서 3.44 ppm 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 8.8%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 2.6% 감소하는 것으로 나타났다.

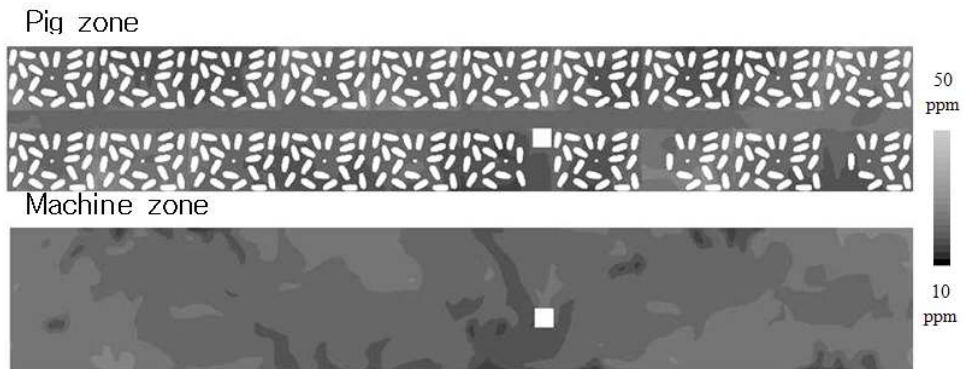


Fig. 96 Ammonia distribution according to the height in case 4, pig house B

그림 97은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 영역 1과 영역 5의 경우 습식공기정화기와 배기용 덕트의 영향을 적게 받기 때문에 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 3이 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 3이 0.0696 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 1이 0.0527 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 32.1%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 단지 1.1% 감소한 결과로 균일성이 잘 유지되는 것으로 나타났다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0554 AER로 Case 1에 비하여 약 27.1% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0614 AER로 돈사 전체 보다 약 10.8% 높았으며 Case 1에 비하여 약 26.6% 향상되는 결과를 보였다.

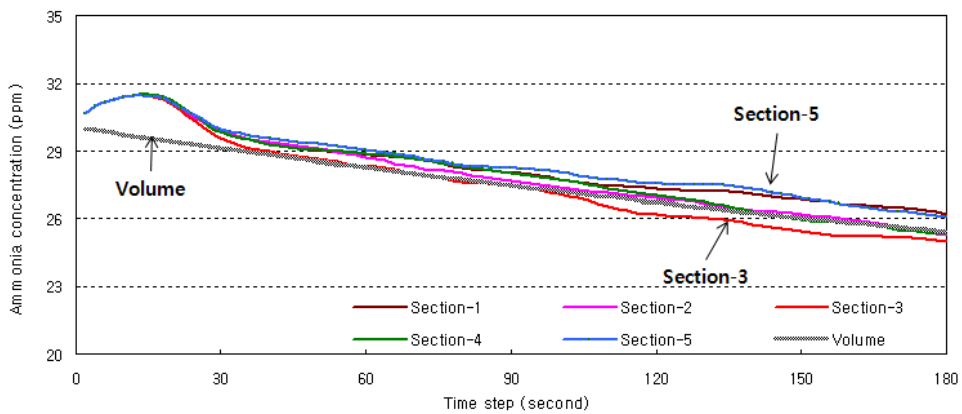


Fig. 97 Dilution of ammonia concentration at each section in case 4, Pig house B

5) Case 5

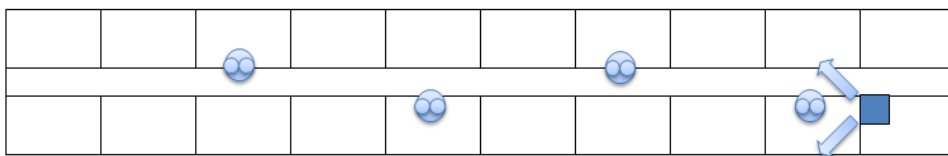


Fig. 98 Location and direction of wet air cleaner in case 5, pig house B

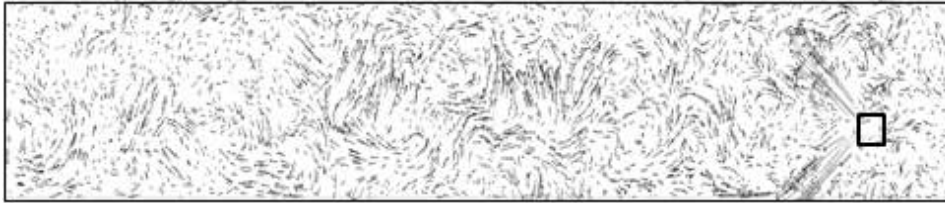


Fig. 99 Air flow at machine zone in case 5, pig house B

그림 98은 돈사 B의 Case 5에 대한 구조를 도시한 것으로 Case 4와 같은 방향으로 정화된 공기를 배기하는 대신 습식공기정화기의 배치를 출입구에서 가장 먼 동쪽 끝으로 이동시킨 구조이다. 그림 99의 유동장에서와 같이 끝벽에 위치한 습식공기정화기에서 나오는 공기에 의하여 전체적인 유동장은 심한 와류 형상을 보이고 있으며 어떤 특이한 기류를 보이고 있지 않다. 그림 100은 Case 5에 대하여 시간별 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 19.73℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 2.7% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 전반적으로 균일한 분포를 보이고 있으며 습식공기정화기 유출구 방향과 배기용 덕트의 영향을 많이 받는 것으로 판단되는 가운데 돈방에서 온도가 다소 낮아지는 결과를 알 수 있었다. 또한 습식공기정화기에 의하여 정화된 공기가 직접적으로 영향을 미치는 9번째 열에서 온도가 19.33℃로 가장 낮았으며, 5번째 열에서 20.34℃로 가장 높아 최대 약 5.7%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 0.5% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 잘 유지되는 결과를 보였다.

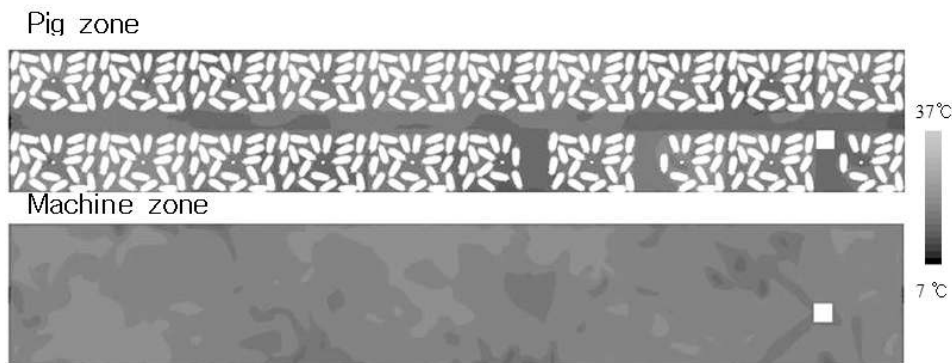


Fig. 100 Temperature distribution according to the height in case 5, pig house B

그림 101은 Case 5에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈

사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.7% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 3.3%가 감소하였다. 습식공기정화기의 영향은 배출되는 신선한 공기가 직접적으로 영향을 주는 유출구 앞 부분과 공기가 유입되는 습식공기정화기 주변에서 특히 더 낮았지는 결과를 보였다. 온도 분포와 마찬가지로 암모니아의 농도 역시 습식공기정화기에 의한 영향을 직접적으로 받는 9열에서 암모니아 농도가 처음의 5.20 ppm이 감소하였으며, 1열에서 3.28 ppm 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 7.9%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 1.7% 감소하는 것으로 나타났다.

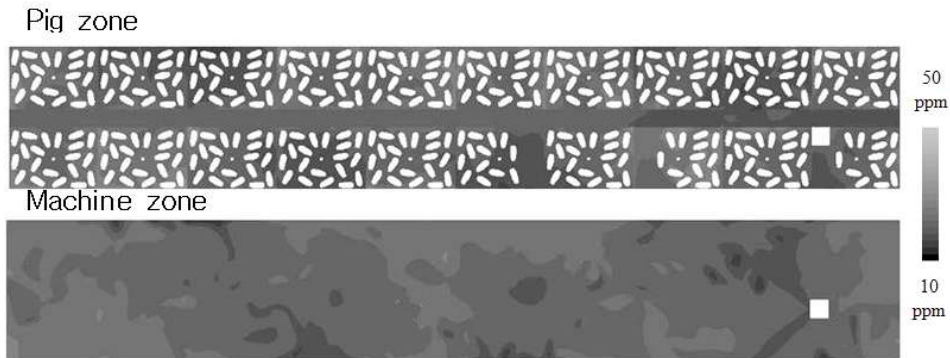


Fig. 101 Ammonia distribution according to the height in case 5, pig house B

그림 101은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 영역 1, 4의 경우 습식공기정화기와 배기용 덕트의 영향을 적게 받기 때문에 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 2가 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 2가 0.0690 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 1이 0.0502 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 37.5%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 6.5% 감소한 결과이다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0554 AER로 Case 1에 비하여 약 27.1% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0594 AER로 돈사 전체 보다 약 7.2% 높았으며 Case 1에 비하여 약 22.5% 향상되는 결과를 보였다.

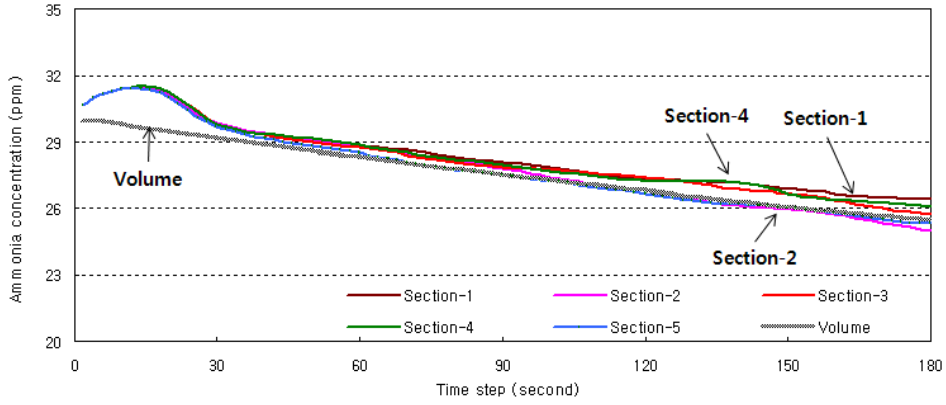


Fig. 102 Dilution of ammonia concentration at each section in case 5, Pig house B

6) Case 6

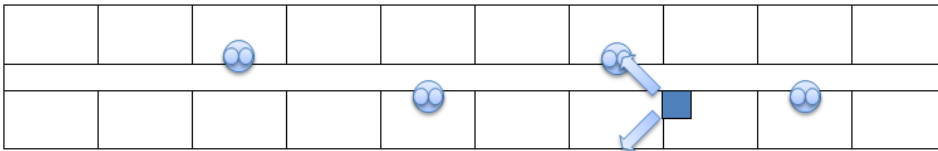


Fig. 103 Location and direction of wet air cleaner in case 6, pig house B



Fig. 104 Air flow at machine zone in case 6, pig house B

그림 103은 돈사 A 의 Case 6에 대한 구조를 도시한 것으로 Case 4와 Case 5와 같은 방향으로 정화된 공기를 배기하는 대신 습식공기정화기의 배치를 출입구에서 8번째 돈방으로 한 것으로 Case 4와 Case 5의 중앙에 해당하는 구조이다. 그림 104의 유동장에서와 같이 동절기의 적은 환기량의 영향으로 전반적인 유동장은 강하지 않으며, 습식공기정화기 부근에서의 유동장만이 강하게 형성되어 해당 지역의 환기 효과가

높을 것으로 예상된다. 그림 105는 Case 6에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 19.68℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 3.0% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 전반적으로 균일한 분포를 보이고 있으나 습식공기정화기 유출구 방향과 배기용 덕트의 영향을 많이 받는 것으로 판단되는 가운데 돈방에서 온도가 다소 낮아지는 결과를 알 수 있었다. 또한 습식공기정화기에 의하여 정화된 공기가 직접적으로 영향을 미치는 5, 6번째 열에서 온도가 19.08℃로 가장 낮았으며, 1번째 열에서 20.22℃로 가장 높아 최대 약 6.0%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 0.8% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 비교적 잘 유지되는 결과를 보였다.



Fig. 105 Temperature distribution according to the height in case 6, pig house B

그림 106은 Case 6에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.4% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 3.7%가 감소하였다. 습식공기정화기의 영향은 배출되는 신선한 공기가 직접적으로 영향을 주는 유출구 앞 부분과 공기가 유입되는 습식공기정화기 주변에서 낮은 결과를 보였다. 그림 81는 시간에 따른 암모니아 농도의 변화를 길이별로 나타낸 것이다. 온도 분포와 마찬가지로 암모니아의 농도 역시 습식공기정화기에 의한 영향을 직접적으로 받는 6열에서 암모니아 농도가 처음의 5.85 ppm 이 감소하였으며, 1열에서 가장 낮은 3.26 ppm 이 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 10.7%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 3.5% 감소하는 것으로 나타났다.

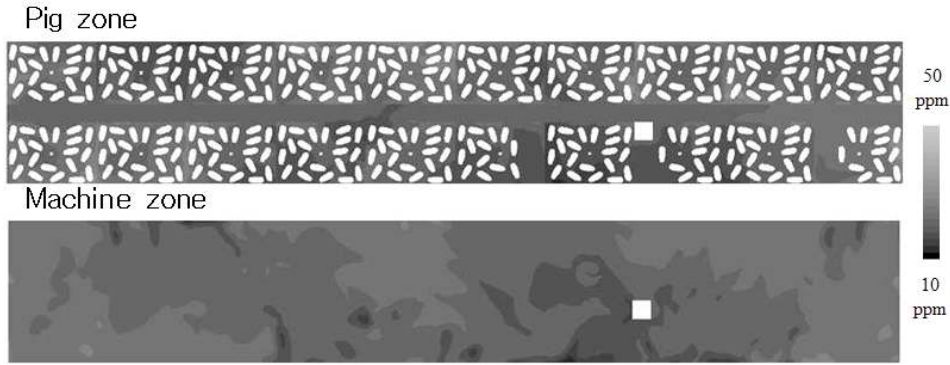


Fig. 106 Ammonia distribution according to the height in case 6, pig house B

그림 107은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 영역 1과 영역 5의 경우 습식공기정화기와 배기용 덕트의 영향을 적게 받기 때문에 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 4가 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 4가 0.0738 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 5는 0.0526 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 40.3%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성은 9.3% 감소한 결과로 균일성이 감소되는 것으로 나타났다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0558 AER로 Case 1에 비하여 약 25.7% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0610 AER로 돈사 전체 보다 약 11.3% 높았으며 Case 1에 비하여 약 25.8% 향상되는 결과를 보였다.

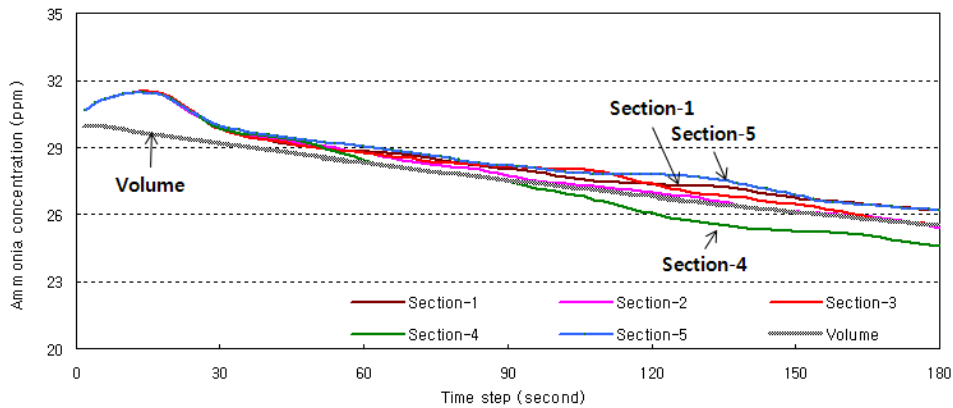


Fig. 107 Dilution of ammonia concentration at each section in case 6, pig house B

7) 돈사 B의 습식공기정화기 위치에 따른 효율성 종합 평가

돈사 B의 경우 환기 구조적인 배기구와 입기구가 돈사의 상부에 집중되어 있기 때문에 돈군으로 환기 효과가 집중되고 있지 않았다. 따라서 암모니아 농도는 습식공기정화기가 없는 경우 3분 후 초기 농도의 약 3.57ppm 감소하는 반면, 온도의 균일성 및 안정성은 잘 유지되고 있는 결과를 보였다. 전체 돈사에 습식공기정화기를 한 대만을 설치하기 때문에 습식공기정화기에 의한 효과는 특정 지역에 집중되고 있었으며, 습식공기정화기를 설치한 경우 암모니아 농도는 4.5ppm감소하여 3분 동안 약 3.5%의 감소 효과를 나타내었다. 그러나 돈군에서의 온도 분포의 경우 습식공기정화기의 설치로 인하여 약 0.6℃ 낮아지는 결과를 보였다. 습식공기정화기의 설치 위치에 따른 차이는 구조에 따라서 크게 다르지 않았다. 이는 습식공기정화기 한 대를 돈사에 설치하였으나 돈사 내부의 기본 유동장이 약하기 때문에 습식공기정화기에서 유출되는 공기의 효과가 전반적으로 비슷하게 나타났기 때문으로 판단된다. 습식공기정화기에 의한 암모니아의 제거 효과의 경우 Case 4가 상대적으로 가장 높게 나타나서 습식공기정화기를 설치하지 않은 Case 1에 비하여 최대 3.7% 농도를 저감 시키는 것으로 나타났다. 이는 Case 2와 비교하였을 때 약 6% 더 높은 성능을 보이는 것이다. 또한 환기량의 경우에도 약 26.6% 증가하는 결과를 나타내었다. 또한 Case 4는 습식공기정화기에 의한 온도 균일성 역시 Case 3에 비하여 최대 27% 높은 효과를 보이는 등 적정 위치로 판단된다.

Table 12 Decrease of internal air temperature at the whole area and pig zone in pig house B (unit : ℃)

	Pig house	Pig room	Uniformity at pig zone
case 1	21.17	20.28	5.2%
case 2	19.60	19.74	7.1%
case 3	19.66	19.70	6.6%
case 4	19.60	19.66	5.2%
case 5	19.59	19.73	5.7%
case 6	19.65	19.68	6.0%

Table 13 Decrease of ammonia concentration at the whole area and pig zone in pig house B (unit : ppm)

	Pig house	Pig room	Uniformity at pig zone
case 1	26.43	26.58	6.2%
case 2	25.52	25.72	8.4%
case 3	25.53	25.57	9.1%
case 4	25.46	25.55	8.8%
case 5	25.48	25.70	7.9%
case 6	25.53	25.59	10.7%

Table 14 Sectional ventilation rates of each cases in pighouse B (Unit : AER)

	Section -1	Section -2	Section -3	Section -4	Section -5	Pigzone	Overall
Case 1	0.0435	0.0541	0.0458	0.0562	0.0429	0.0485	0.0436
Case 2	0.0507	0.0666	0.0658	0.0676	0.0475	0.0596	0.0553
Case 3	0.0553	0.0638	0.0697	0.0688	0.0485	0.0612	0.0547
Case 4	0.0527	0.0655	0.0696	0.0647	0.0546	0.0614	0.0554
Case 5	0.0502	0.0690	0.0587	0.0544	0.0648	0.0594	0.0554
Case 6	0.0531	0.0638	0.0616	0.0738	0.0526	0.0610	0.0548

다. 돈사 C의 습식공기정화기 설치 위치에 따른 환기 효율성 분석

실험 돈사 C는 650 두 규모로 자연환기식 환기구조를 사용하고 있다. 양 측벽의 상단 부와 지붕 끝에 틈을 열어두어 환기가 수행되도록 하였으나 이를 시뮬레이션 상에서 효과적으로 나타내기 어렵기 때문에 강제환기식으로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 일반적으로 따뜻한 공기가 밀도가 낮아 돈사 상단에 모이고 지붕으로 배기되기

때문에 지붕의 틈새를 배기구로 설정하고, 양 측벽에서 공기가 입기되는 것으로 가정하였다. 돈사 B와 마찬가지로 검증된 CFD 모델을 사용하여 습식공기정화기가 효과적으로 사용될 수 있는 위치 및 방향을 결정하기 위하여 습식공기정화기가 없는 경우를 포함한 6가지 구조에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. Tracer gas decay 법을 사용하여 환기량을 계산하였으며, 환기 수행 초기에 돈사 내부의 온도는 25℃, 암모니아 농도는 30ppm 이 가득 차 있다고 가정하였으며, 30년간의 기상 데이터를 참고하여 외부에서 들어오는 공기는 동절기를 기준으로 -2.6℃, 상대 습도 60%로 가정하였다. 각 구조에 대하여 환기 시작 후 3분 동안의 온도와 습도, 암모니아 농도 및 환기량을 비교하였다. 온도와 농도의 분포는 각 구조별, 시간별로 돼지 높이와 기계 높이에서 1분 간격으로 총 3분 동안 분석하였다. 돼지 모델의 경우 실제와 비슷한 결과를 위하여 돼지의 크기에 따라서 수십 cm 정도 떨어지도록 하였다. 따라서 돼지의 크가 위치할 것으로 예상되는 0.3m 를 돼지 높이로 설정하였다. 또한 공기 정화기의 경우 유입구의 덕트 부분을 제외한 전체 높이를 2m 로 가정하였을 때, 정화 공기 배출구의 중심선이 위치하는 1.8m 를 기계 높이로 설정하였다. 모든 온도, 습도, 암모니아 농도, 환기량 등의 결과는 점측정의 우연성을 줄이기 위하여 각 돈방별로 부피 평균을 하여 비교하였다.

1) Case 1

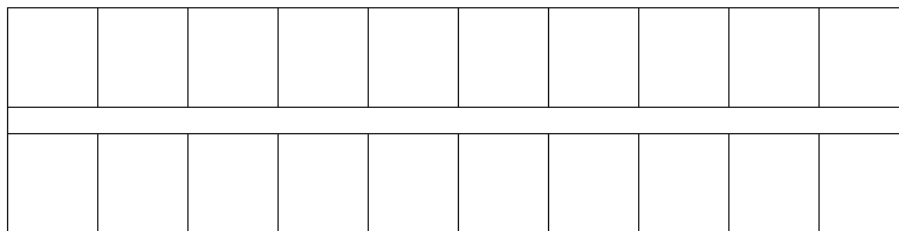


Fig. 108 Location and direction of wet air cleaner in case 1, pig house C

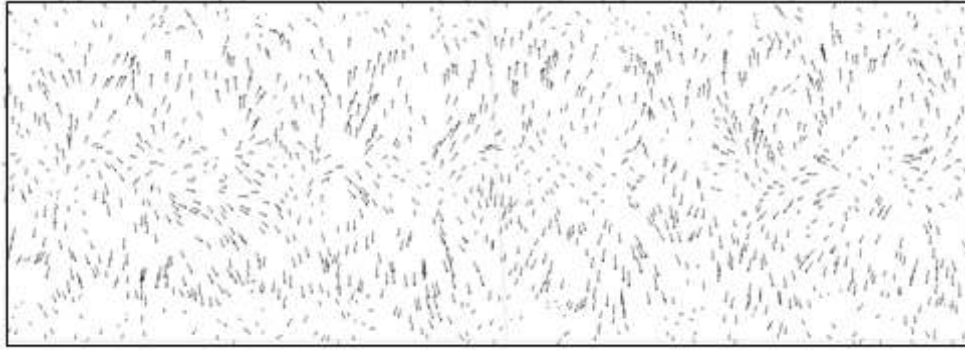


Fig. 109 Air flow at machine zone in case 1, pig house C

그림 108은 돈사 C의 습식공기정화기의 성능을 평가하기 위한 대조군으로 습식공기정화기를 설치하지 않았을 경우의 Case 1을 나타낸 것이다. 동절기의 추천 환기량을 기준으로 유입되는 공기의 양을 설정하였기 때문에 돈사 내부의 공기의 유속은 매우 낮으며, 흐름은 그림 109와 같이 특별한 방향성을 나타내지 않았으며 전반적으로 균일한 분포를 나타내고 있었다. 그림 110은 온도의 분포를 높이별로 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 18.41℃로 적정 사육 온도에 부합하는 것으로 판단된다. 온도의 분포는 전반적으로 균일한 분포를 보이고 있다. 양 측벽의 상부에서 유입되는 공기는 상대적으로 온도가 낮기 때문에 밀도가 높다. 따라서 양 측벽을 바로 옆을 따라서 온도가 낮으며 이는 다시 순환하여 지붕의 배기구로 배기되는 유동을 보이기 때문에 가운데의 온도가 상대적으로 낮은 분포를 보였다. 또한 최대 온도의 편차가 1.8%로 온도의 균일성이 매우 좋은 것으로 나타났다.

Pig zone



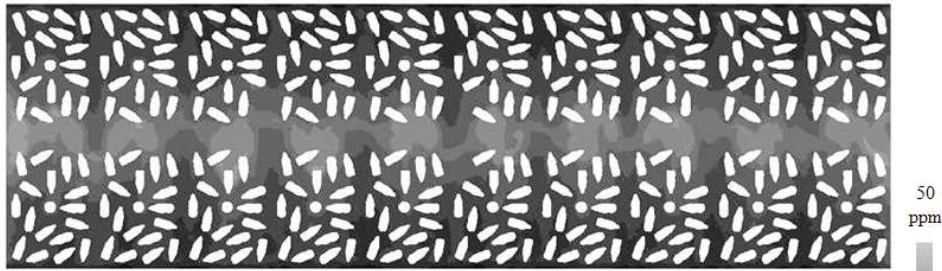
Machine zone



Fig. 110 Temperature distribution according to the height in case 1, pig house C

그림 111은 Case 1에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 전체적인 암모니아 농도의 분포는 온도 분포의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 환기 구조적으로 신선한 공기가 측벽을 따라서 돈군으로 바로 떨어지기 때문에 돈방에서의 암모니아 농도가 먼저 떨어지는 경향을 나타내고 있다. 습식공기정화기가 없는 Case 1에서는 3분 후의 암모니아 농도가 돈사 전체에서 약 2.89 ppm 이 감소하였으며, 돈방만을 기준으로 하였을 경우 5.69 ppm 이 감소하여 환기의 효과가 돈방으로 집중되는 결과를 보였다. 돈방에서의 암모니아 농도는 최대 약 3.9%의 차이를 보여 길이방향으로의 균일성이 잘 유지되고 있는 것으로 나타났다.

Pig zone



Machine zone

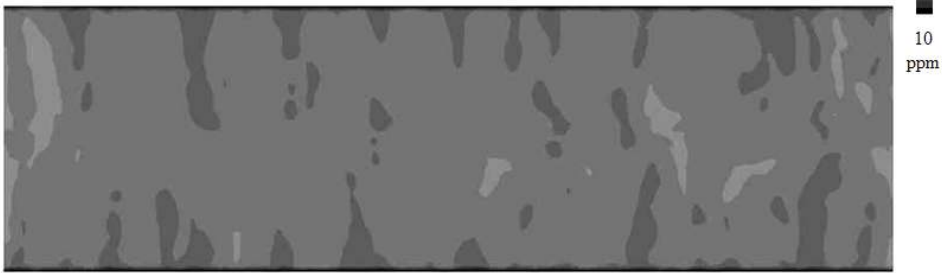


Fig. 111 Ammonia distribution according to the height in case 1, pig house C

그림 112는 동쪽에서부터 돈방 4개씩을 평균하여 총 20개의 돈방을 5개의 영역으로 분할하여 각각의 암모니아의 농도를 평균하여 감소하는 경향을 전체 돈사에서 감소하는 암모니아의 농도와 함께 도시한 것이다. 환기 초기에는 신선한 공기가 측벽의 상층부에서 돈방으로 떨어지기 때문에 돈방으로 신선한 공기가 도달하기 직전까지 암모니아 농도가 다소 상승한다. 그러나 신선한 공기가 측벽을 따라 돈방으로 집중되기 때문에 암모니아 농도는 급격하게 감소하는 추세를 나타내고 있다. 입기구와 배기구는 돈사 길이방향으로 연속적으로 위치하기 때문에 모든 영역에서 암모니아의 농도는 매우 균등한 분포를 나타내고 있었다. 환기량 계산 결과, 영역 3이 0.0846 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 1이 0.0757 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 10.5%의 차이를 보였다. 이는 환기의 균일성이 잘 유지되는 것으로 판단된다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0355 AER로 설계 환기량인 0.07에 비하여 50.7%의 효과만을 나타내고 있다. 돈방의 경우 환기량은 0.0805로 전체 환기량에 비하여 약 2.27배 더 높은 수치를 보였다.

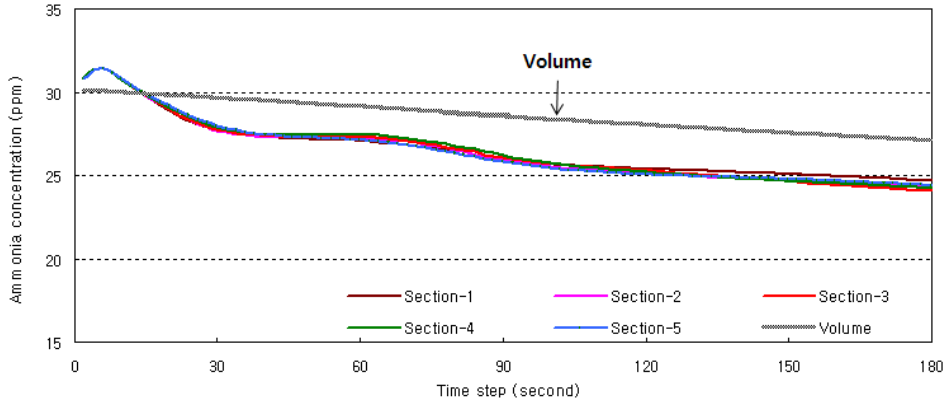


Fig. 112 Dilution of ammonia concentration at each section in case 1, pig house C

2) Case 2

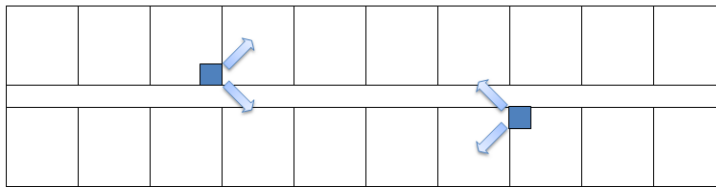


Fig. 113 Location and direction of wet air cleaner in case 2, pig house C

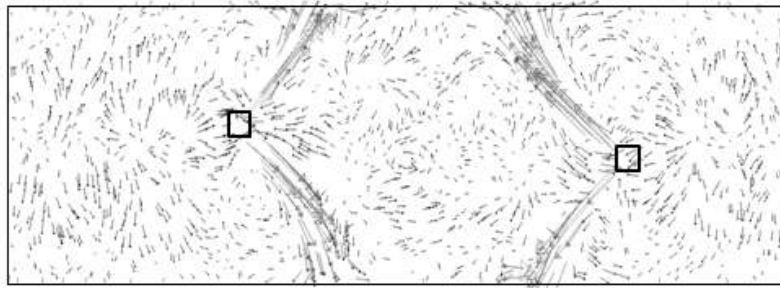
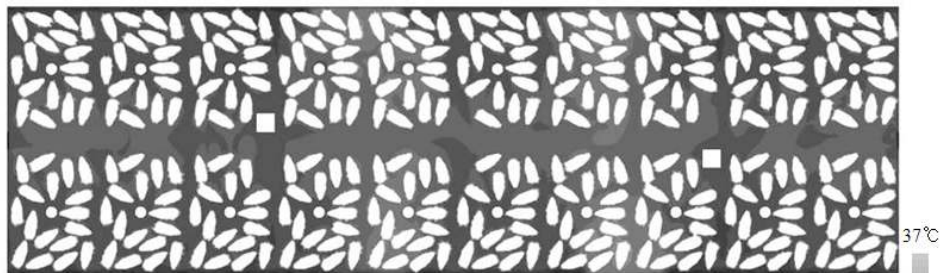


Fig. 114 Air flow at machine zone in case 2, pig house C

그림 113은 돈사 C의 case 2에 대한 구조를 도시한 것으로 현재 실험 농장에 설치되어 있는 습식공기정화기의 배치 및 방향과 같도록 한 구조이다. 습식공기정화기의

상단부의 유입구로 유입된 내부의 오염된 공기는 내부에서 정화되어 그림 92의 화살표와 같은 45도 방향으로 배출되도록 설계하였다. 정화된 공기는 잠열을 고려하여 온도가 절대 온도를 기준으로 약 0.6% 감소하도록 설계하였다. 이는 섭시 온도로 고려될 경우 약 8%에 해당하는 수치이다. 또한 암모니아 농도는 현장실험을 고려하여 약 11%의 가스가 제거되는 것으로 가정하였으며, 습도는 절대 습도를 기준으로 하여 약 5%가 증가하는 것으로 설계하였다. 유동장은 그림 93과 같이 두 개의 습식공기정화기에 의하여 정화된 신선한 공기가 중앙부에 집중되고 있다. 그림 114는 case 2에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 17.62℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 4.3% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 전반적으로 균일한 분포를 보이고 있으며 습식공기정화기에 의하여 정화된 공기가 직접적으로 영향을 미치는 3번째 열에서 온도가 16.96℃로 가장 낮았으며, 5번째 열에서 18.46℃로 가장 높아 최대 약 8.5%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 6.7% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 잘 유지되는 결과를 보였다.

Pig zone



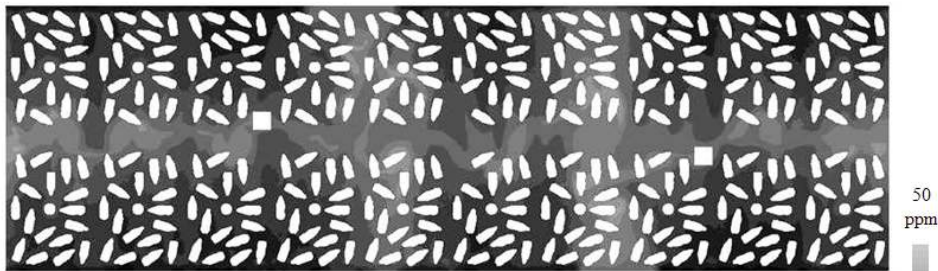
Machine zone



Fig. 115 Temperature distribution according to the height in case 2, pig house C

그림 116은 case 2에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 4.0% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 5.2%가 감소하였다. 그림 117은 암모니아 농도의 변화를 길이별로 나타낸 것이다. 첫 번째 습식공기 정화기가 설치되어 있는 돈방에서 암모니아 농도가 가장 낮은 결과를 보였으며 두 번째 습식공기정화기의 유출구 뒤쪽으로 암모니아 농도가 가장 높은 결과를 보였다. 온도 분포와 마찬가지로 암모니아의 농도 역시 습식공기정화기에 의한 영향을 직접적으로 받는 3열에서 암모니아 농도가 처음의 8.22 ppm 이 감소하였으며, 7열에서는 4.87 ppm 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 14.5%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 10.6% 감소하는 것으로 나타났다.

Pig zone



Machine zone



Fig. 116 Ammonia distribution according to the height in case 2, pig house C

그림 116은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 두 대의 습식공기정화기에서 각각 45도 각도로 배출되는 신선한 공기가 직접적으로 닿지 않는 영역 3과 영역 4의 경우 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 2와 영역 5가 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 5가 0.1092 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 4가 0.0832 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 23.8%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 단지 13.3% 감소한 결과이다. 환기

의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0485 AER로 Case 1에 비하여 약 36.6% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0984 AER로 돈사 전체 보다 약 2.03 배 높았으며 Case 1에 비하여 약 22.2% 향상되는 결과를 보였다.

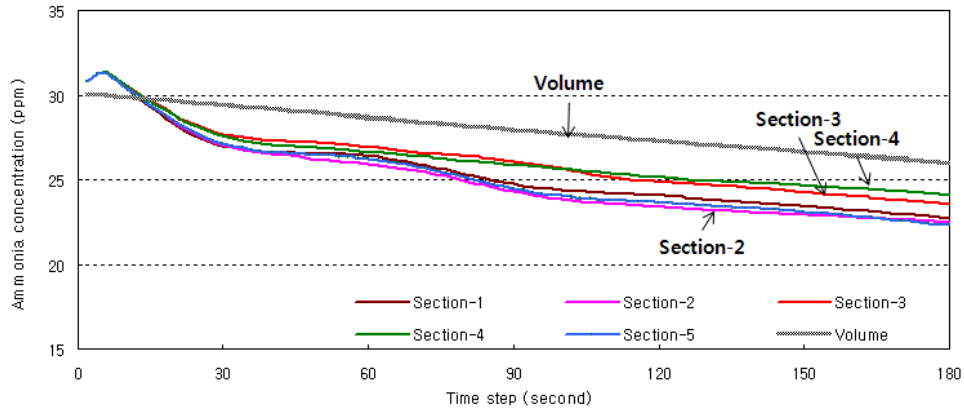


Fig. 117 Dilution of ammonia concentration at each section in case 2, pig house C

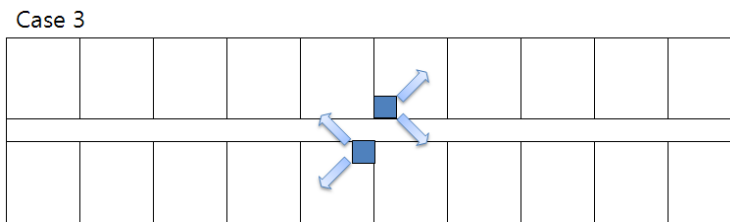


Fig. 118 Location and direction of wet air cleaner in case 3, pig house C

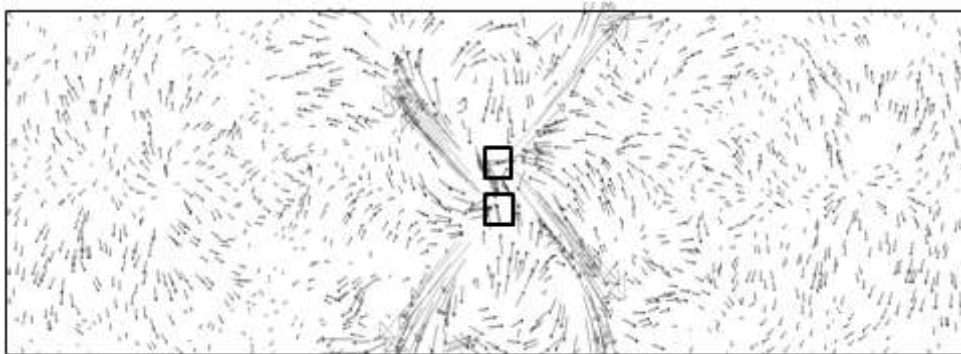
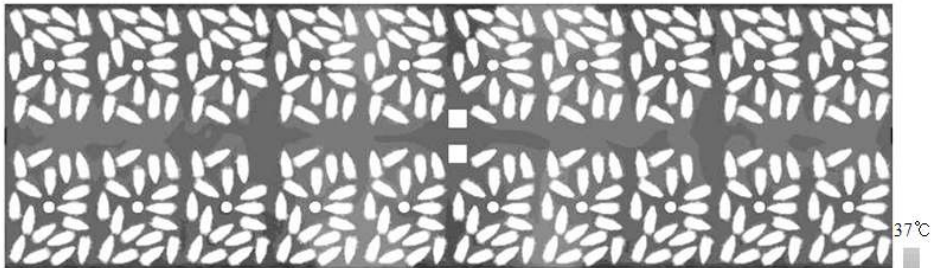


Fig. 119 Air flow at machine zone in case 3, pig house C

그림 118은 돈사 B 의 case 3에 대한 구조를 도시한 것으로 두 대의 습식공기정화기를 가운데에 집중시켜 양 끝 벽쪽으로 정화된 공기가 배출되는 구조로 설계하였다. 유동장은 그림 119와 같이 두 개의 습식공기정화기에 의하여 정화된 신선한 공기가 45도 각도로 그림과 같이 배출되고 있다. 따라서 습식공기정화기의 배출구 바로 앞의 돈방에서 일반적으로 암모니아 농도가 가장 높고 그 다음 돈방에서 암모니아 농도가 가장 낮은 결과를 보였다. 그림 120은 case 3에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 17.52℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 4.9% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 전반적으로 균일한 분포를 보이고 있으며 습식공기정화기에 의하여 정화된 공기가 직접적으로 영향을 미치는 3번째 열에서 온도가 17.00℃로 가장 낮았으며, 7번째 열에서 18.45℃로 가장 높아 최대 약 8.3%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 6.5% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 비교적 잘 유지되는 결과를 보였다.

Pig zone



Machine zone

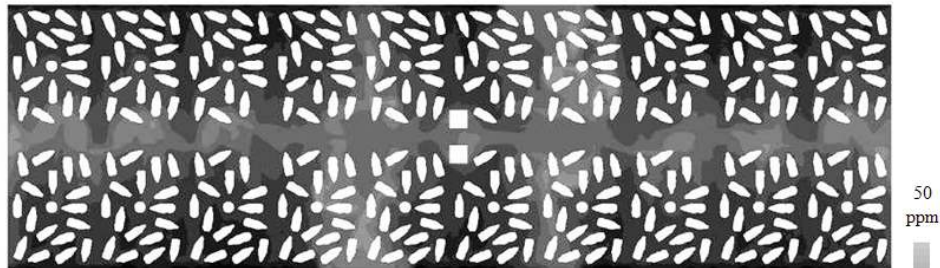


그림 120 Temperature distribution according to the height in case 3, pig house C

그림 121은 case 3에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 4.0% 감소하였으며, 돈방을

기준으로 약 5.7%가 감소하였다. 암모니아 농도의 결과는 온도의 결과와 마찬가지로 습식공기 정화기가 설치되어 있는 돈방 바로 앞에서 대체로 높은 농도를 보였으며 돈방 하나를 지나면서 유동장이 집중되면서 가장 낮은 농도를 보이고 있다. 3열에서 암모니아 농도가 처음의 8.08 ppm 이 감소하였으며, 7열에서는 5.25 ppm 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 12.4%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 8.9% 감소하는 것으로 나타났다.

Pig zone



Machine zone

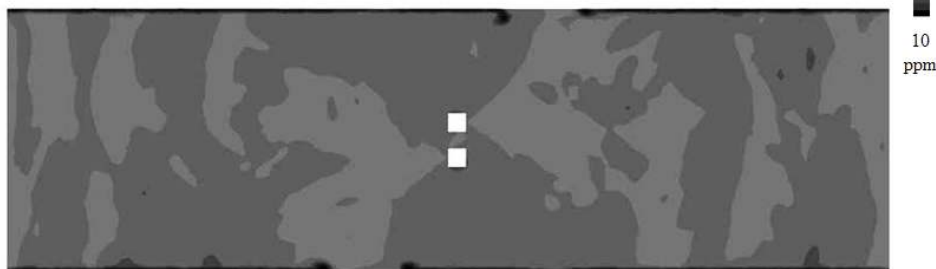


Fig. 121 Ammonia distribution according to the height in case 3, pig house C

그림 121은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 두 대의 습식공기정화기에서 각각 45도 각도로 배출되는 신선한 공기가 직접적으로 닿지 않는 영역 4의 경우 농도가 상대적으로 늦게 감소하는 경향을 보였으며 습식공기정화기가 위치한 영역 3의 암모니아 농도가 초기에 가장 먼저 감소하지만 최종적으로는 영역 1과 영역 5의 농도가 가장 낮은 결과를 보였다. 환기량 계산 결과, 영역 5가 0.1067 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 4가 0.0900 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 15.7%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 단지 5.2% 감소한 결과로 환기의 균일성이 우수한 것으로 판단된다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0487 AER로 Case 1에 비하여 약 37.2% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0998

AER로 돈사 전체 보다 약 2.05 배 높았으며 Case 1에 비하여 약 24.0% 향상되는 결과를 보였다.

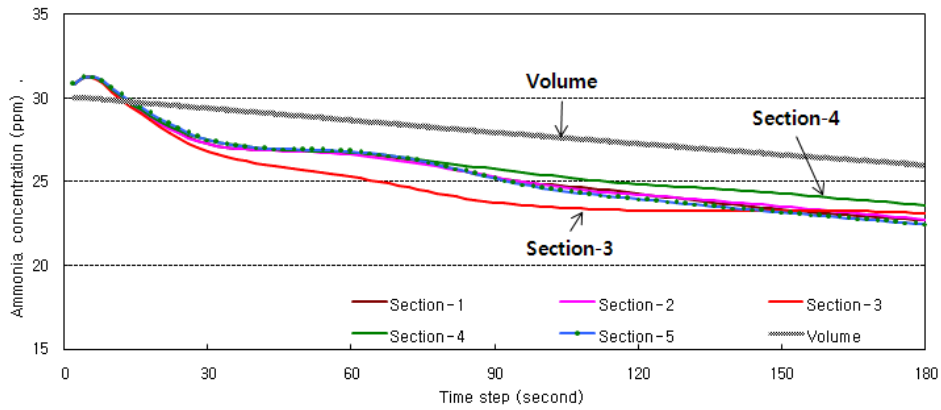


Fig. 122 Dilution of ammonia concentration at each section in case 3, pig house C

4) Case 4

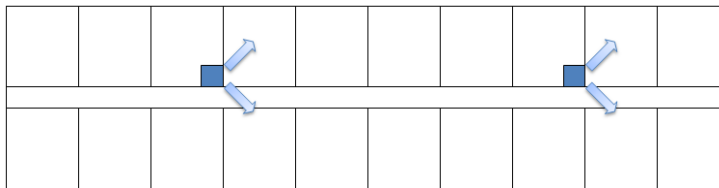


Fig. 123 Location and direction of wet air cleaner in case 4, pig house C

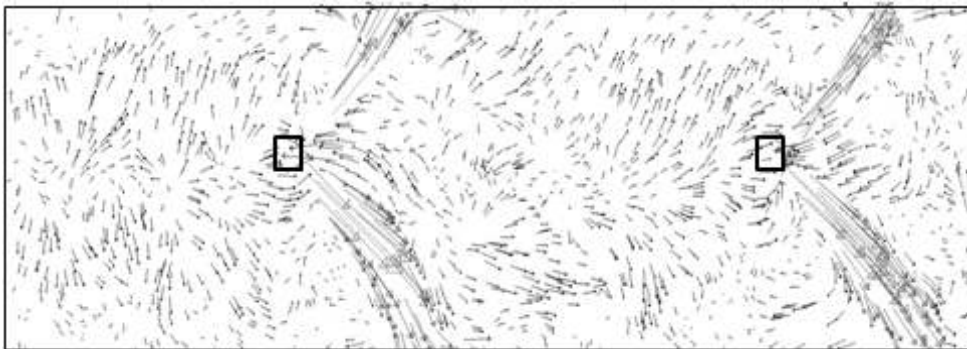
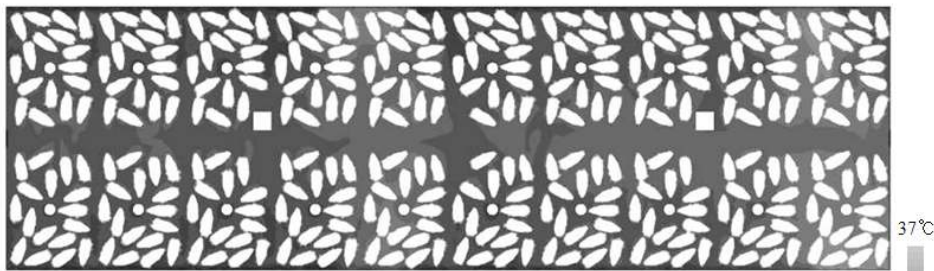


Fig. 124 Air flow at machine zone in case 4, pig house C

그림 123은 돈사 C의 case 4에 대한 구조를 도시한 것으로 현재 실험 농장에 설치되어 있는 습식공기정화기와 유사한 배치를 유지하면서 두 번째 습식공기정화기의 유출구 방향을 바꾸어 중앙으로 신선한 공기가 모이는 대신 길이방향으로 흐르도록 유도한 구조이다. 그림 124의 유동장과 같이 습식공기정화기에서 각각 45도 방향으로 신선한 공기가 배출되고, 그 사이로 공기가 유입되는 형태의 유동장을 나타내고 있다. 그림 125는 case 4에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 17.56℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 4.6% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 습식공기정화기에서 신선한 공기가 유출되고 외부에서 들어오는 찬 공기는 습식공기정화기의 배출 방향의 반대쪽의 더 많은 영향을 미쳐 습식공기정화기의 유출구 반대쪽의 온도가 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 또한 외부의 찬공기가 큰 영향을 주는 3열에서 온도가 16.69℃로 가장 낮았으며, 10번째 열에서 19.48℃로 가장 높아 최대 약 15.9%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 13.1% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 매우 나쁜 결과를 보였다.

Pig zone



Machine zone



Fig. 125 Temperature distribution according to the height in case 4, pig house C

그림 126은 case 4에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 4.1% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 5.7%가 감소하였다. 온도 분포와 마찬가지로 암모니아의 농도 역시 3열에서 암모니아 농도가 처음의 8.54 ppm 이 감소하였으며, 10열에서는 3.77 ppm 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 20.8%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 16.9% 감소하여 균일성이 매우 떨어지는 것으로 판단된다.

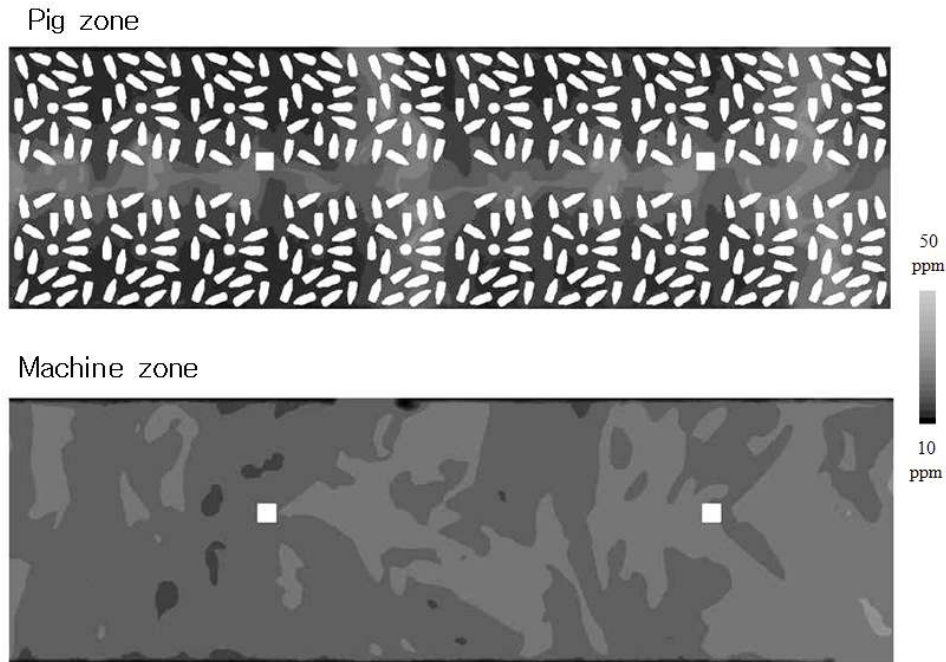


Fig. 126 Ammonia distribution according to the height in case 4, pig house C

그림 127은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 공기의 순환이 원활한 것으로 판단되는 영역 5의 경우 농도가 가장 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 2가 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 2가 0.1160 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 5가 0.0746 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 35.7%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 25.2% 감소한 결과로 환기 효과의 균일성이 낮았다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0489 AER로 Case 1에 비하여 약 37.7% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.1003 AER로 돈사 전체 보다 약 2.05 배 높았으며 Case 1에 비하여 약 24.6% 향상되는 결과를 보였다.

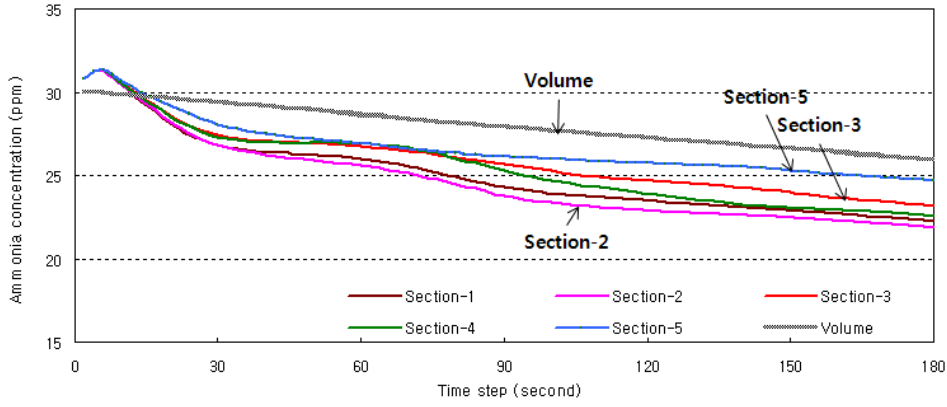


Fig. 127 Dilution of ammonia concentration at each section in case 4, pig house C

5) Case 5



Fig. 128 Location and direction of wet air cleaner in case 5, pig house C

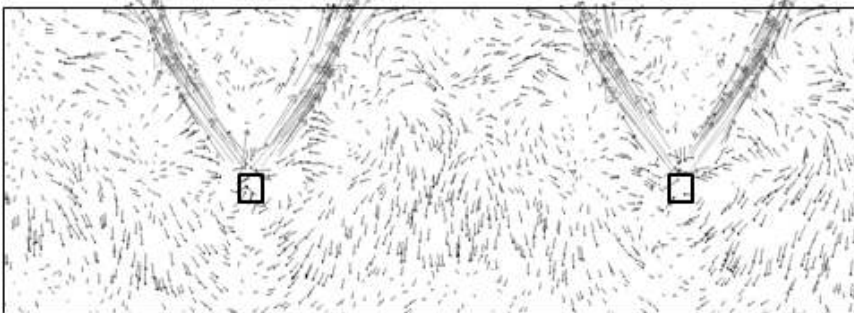


Fig. 129 Air flow at machine zone in case 5, pig house C

그림 128은 돈사 C의 case 5에 대한 구조를 도시한 것으로 현재 실험 농장에 설치

되어 있는 습식공기정화기와 유사한 배치를 유지하면서 습식공기정화기의 유출구 방향을 바꾸어 신선한 공기가 폭 방향으로 흐르도록 유도한 구조이다. 그림 129의 유동장과 같이 습식공기정화기에서 각각 45도 방향으로 신선한 공기가 배출되면서 두 대의 습식공기정화기 주위를 순환하는 유동장을 나타내고 있다. 그림 130은 case 5에 대하여 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 17.62℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 4.3% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 두 대의 습식공기정화기를 기준으로 순환하는 신선한 공기 흐름에 따라서 상대적으로 균일한 분포를 보이고 있다. 또한 3열에서 온도가 17.33℃로 가장 낮았으며, 2번째 열에서 18.13℃로 가장 높아 최대 약 4.5%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 단지 1.8% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 매우 좋은 것으로 나타났다.



Fig. 130 Temperature distribution according to the height in case 5, pig house C

그림 131은 case 5에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.9% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 4.9%가 감소하였다. 온도 분포와 마찬가지로 암모니아의 농도 역시 3열에서 암모니아 농도가 처음의 7.53 ppm으로 가장 많이 감소하였으며, 2열에서는 6.03

ppm으로 가장 적게 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 6.5%로 Case 1에 비하여
 균일성이 약 2.6% 감소하여 균일성이 매우 좋은 결과를 보였다.

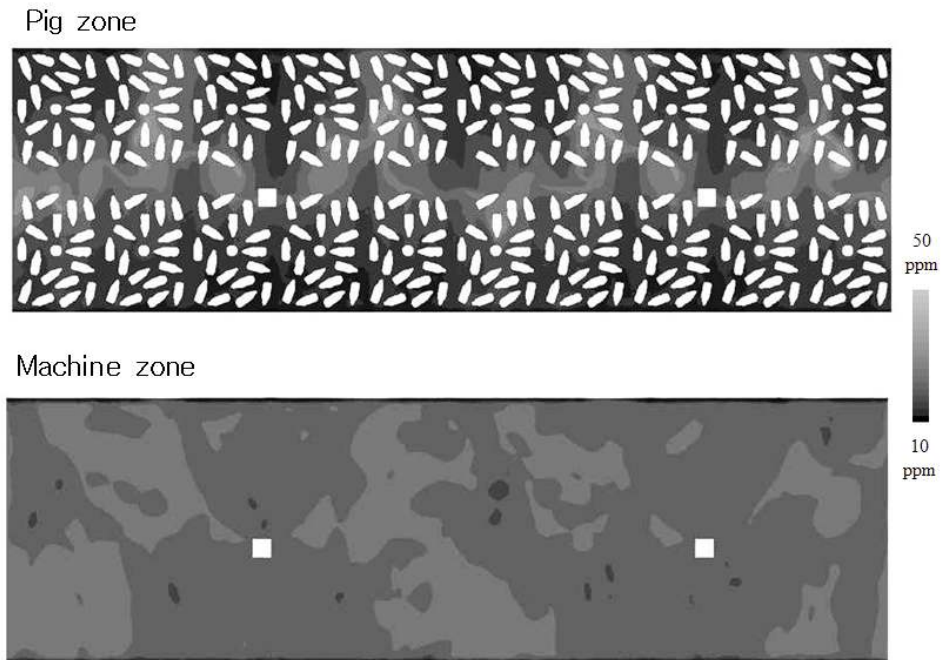


Fig. 131 Ammonia distribution according to the height in case 5, pig house C

그림 132는 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 공기의 순환이 원활한 것으로 판단되는 영역 2의 경우 농도가 가장 늦게 감소하는 경향을 보였으며 영역 1에서 가장 빠른 농도의 감소를 나타내었으나 전반적으로 Case 1과 같이 균일한 농도의 감소 경향을 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 2가 0.1047 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 1이 0.0885 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 15.5%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 5.0% 감소한 결과로 환기 효과의 균일성이 매우 좋은 것으로 판단된다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0484 AER로 Case 1에 비하여 약 36.3% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0969 AER로 돈사 전체 보다 약 2.00 배 높았으며 Case 1에 비하여 약 20.4% 향상되는 결과를 보였다.

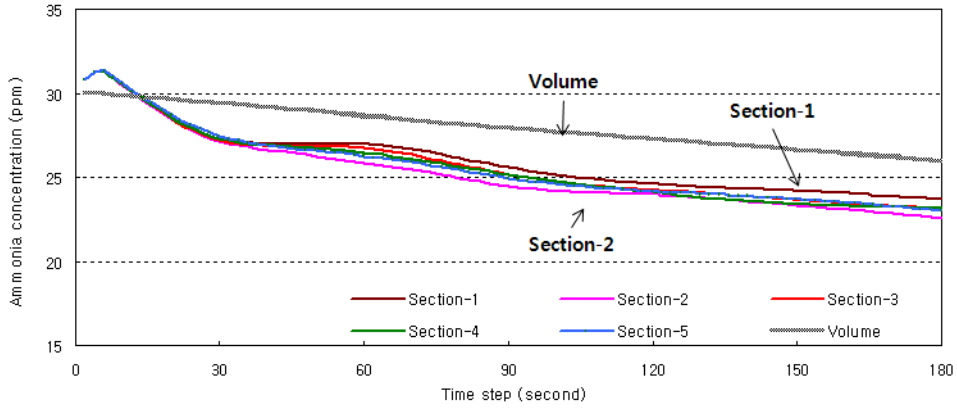


Fig. 132 Dilution of ammonia concentration at each section in case 5, pig house C

6) Case 6

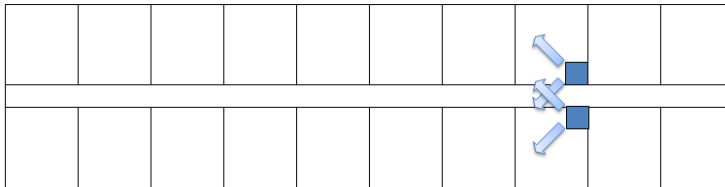


Fig. 133 Location and direction of wet air cleaner in case 6, pig house C

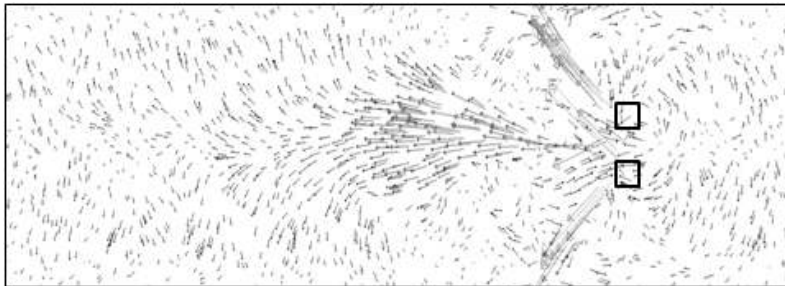


Fig. 134 Air flow at machine zone in case 6, pig house C

그림 133은 돈사 C 의 case 6에 대한 구조를 도시한 것으로 두대의 습식공기정화기를 한쪽 끝 벽 쪽에 가깝게 배치하여 길이방향으로 신선한 공기를 내 보내는 구조이

다. 그림 134의 유동장과 같이 습식공기정화기에서 각각 45도 방향으로 신선한 공기가 배출되면서 두 대의 영향을 함께 받아 가운데 복도를 따라서 신선한 공기가 멀리까지 확산되는 형태를 보인다. 그림 135는 case 6에 대하여 시간별 온도 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 3분 후 돈방에서의 평균 온도는 17.65℃로 이는 습식공기정화기가 설치되어 있지 않은 Case 1과 비교하였을 때 약 4.2% 감소한 수치이다. 온도의 분포는 습식공기정화기에서 신선한 공기가 중앙 복도를 따라 멀리까지 확산되며 외부에서 유입되는 찬 공기가 습식공기정화기 쪽으로 유입되어, 습식공기정화기에서 멀리 떨어진 서쪽 끝벽의 온도는 상대적으로 높고, 습식공기정화기 뒤쪽의 동쪽 벽으로는 외부의 찬 공기가 많이 들어와 상대적으로 온도가 낮았다. 또한 외부의 찬 공기가 큰 영향을 주는 10열에서 온도가 16.28℃로 가장 낮았으며, 1번째 열에서 19.03℃로 가장 높아 최대 약 15.6%의 편차를 보여 Case 1에 비하여 12.8% 균일성이 떨어지는 결과를 보여 온도의 균일성이 매우 나쁜 것으로 나타났다.

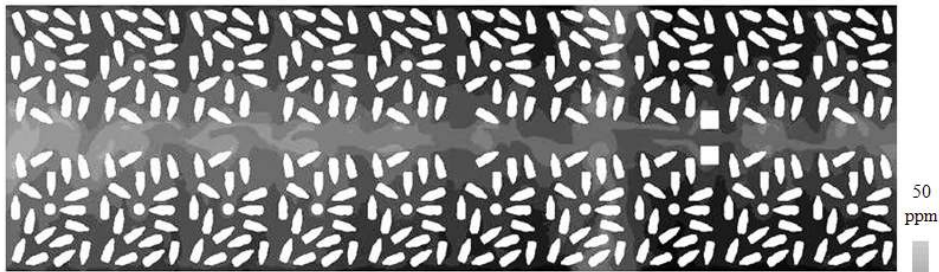


Fig. 135 Temperature distribution according to the height in case 6, pig house C

그림 136은 case 6에 대한 암모니아 농도의 분포를 높이에 따라 나타낸 것이다. 돈사 전체를 기준으로 Case 1에 비하여 암모니아 농도는 약 3.9% 감소하였으며, 돈방을 기준으로 약 5.4%가 감소하였다. 온도 분포와 마찬가지로 암모니아의 농도 역시 8열

에서 암모니아 농도가 처음의 9.21 ppm로 가장 크게 감소하였으며, 1열에서는 4.38 ppm으로 가장 적게 감소하였다. 암모니아 농도의 편차는 약 21.0%로 Case 1에 비하여 균일성이 약 17.1% 감소하여 균일성이 매우 떨어지는 것으로 판단된다.

Pig zone



Machine zone



Fig. 136 Ammonia distribution according to the height in case 6, pig house C

그림 137은 암모니아 농도를 길이방향으로 나타낸 것으로 공기의 순환이 원활한 것으로 판단되는 영역 5의 경우 농도가 가장 빠르게 감소하는 경향을 보였으며 영역 1이 가장 늦은 농도의 감소를 나타내었다. 환기량 계산 결과, 영역 5가 0.1268 AER 로 가장 환기량이 높았으며, 영역 1이 0.0677 AER 로 가장 환기량이 낮아 약 46.6%의 차이를 보였다. 이는 Case 1과 비교하여 환기의 균일성이 36.1% 감소한 결과로 환기 효과의 균일성이 현저하게 떨어졌다. 환기의 효과는 돈사 전체를 기준으로 0.0482 AER 로 Case 1에 비하여 약 35.8% 더 향상되는 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 0.0996 AER로 돈사 전체 보다 약 2.07배 높았으며 Case 1에 비하여 약 23.7% 향상되는 결과를 보였다.

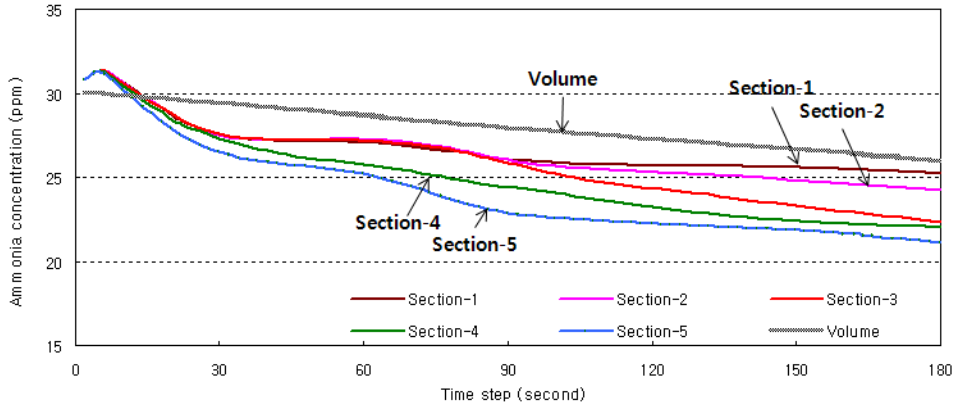


Fig. 137 Dilution of ammonia concentration at each section in case 6, pig house C

7) 돈사 C의 습식공기정화기 위치에 따른 효율성 종합 평가

돈사 C의 경우 외부의 신선한 찬 공기가 돈사로 들어오면서 직접 돈군으로 떨어져 돈방에서의 환기 효과가 돈사 상부로 유동이 집중되었던 돈사 B에 비하여 전반적으로 높은 것으로 나타났다. 습식공기정화기가 없는 경우 암모니아 농도는 3분 후 초기 농도의 약 5.69ppm 감소하여 안정성에 다소 문제가 있을 것으로 판단되며, 환기량 및 온도, 암모니아 가스 농도의 균일성이 잘 유지되고 있었다. 전체 돈사에 습식공기정화기를 두 대 설치하기 때문에 습식공기정화기에 의한 효과는 배치 및 정화 공기의 배출 방향에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 습식공기정화기를 설치한 경우 암모니아 농도는 평균 7.0ppm 감소하여 3분 동안 약 3%의 추가 감소 효과를 보였다. 또한 돈군에서의 평균 온도는 습식공기정화기의 설치로 인하여 약 0.8℃ 낮아지는 결과를 보였다. 암모니아의 제거 효과는 돈사 전체를 기준으로 거의 비슷한 결과를 보였으며, 돈방을 기준으로 하였을 때 암모니아의 제거 효과 및 환기량은 Case 4에서 가장 우수하였다. Case 4의 경우 습식공기정화기가 설치되지 않은 경우에 비하여 환기량이 약 24.6% 증가하는 결과를 보였으며, 암모니아의 제거 효과는 5.7% 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 Case 4는 두 개의 습식공기정화기가 길이 방향으로 한쪽으로 작동하기 때문에 정화의 효과가 닿지 않는 부분이 생기기 때문에 환기량 및 암모니아 농도의 균일성은 습식공기 정화기를 설치하지 않았을 때보다 약 16.9% 떨어지는 결과를 보였다. 온도와 환기량 및 암모니아 농도의 균일성을 기준으로 하였을 경우 두 개의 습식공기정화기를 폭방향으로 설치한 Case 5가 가장 좋은 결과를 보였다. 특히 Case 5의 경우 두 대의 습식공기정화기가 돈사 전체를 마치 두 개의 영역으로 나눈 것과 같은 유동장을 보이고 있기 때문에 특정 지역에 효과가 집중되는 것을 막을 수 있었다. 따

라서 균일성을 고려하였을 때는 Case 5가 Case 4보다 균일성이 약 14.4% 더 효과적이며, 단순히 암모니아 제거 능력만을 고려하였을 때는 Case 4가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

Table 15 Decrease of internal air temperature at the whole area and pig zone in pig house B (unit : °C)

	Pig house	Pig room	Uniformity at pig zone
case 1	20.60	18.41	1.8%
case 2	19.91	17.62	8.5%
case 3	19.87	17.52	8.3%
case 4	19.89	17.56	15.9%
case 5	19.95	17.62	4.5%
case 6	19.91	17.65	15.6%

Table 16 Decrease of ammonia concentration at the whole area and pig zone in pig house B (unit : ppm)

	Pig house	Pig room	Uniformity at pig zone
case 1	27.11	24.31	3.9%
case 2	26.03	23.04	14.5%
case 3	26.02	22.93	12.4%
case 4	26.00	22.92	20.8%
case 5	26.04	23.13	6.5%
case 6	26.05	22.99	21.0%

Table 17 Sectional ventilation rates of each cases in pig house B

	Section -1	Section -2	Section -3	Section -4	Section -5	Pigzone	Overall
Case 1	0.0757	0.0809	0.0846	0.0820	0.0793	0.0805	0.0355
Case 2	0.1026	0.1066	0.0902	0.0832	0.1092	0.0984	0.0485
Case 3	0.1029	0.1025	0.0970	0.0900	0.1067	0.0998	0.0487
Case 4	0.1101	0.1160	0.0956	0.1052	0.0746	0.1003	0.0489
Case 5	0.0885	0.1047	0.0967	0.0965	0.0983	0.0969	0.0484
Case 6	0.0677	0.0816	0.1085	0.1134	0.1268	0.0996	0.0482

제 4 절 결론

본 연구에서는 현장실험과 공기유동학적 시뮬레이션을 수행하여 습식공기정화기의 위치 및 배기 방향에 따른 효율성을 두 군데의 실험돈사에 대하여 각각 비교하였다. 각 돈사에서 습식공기정화기의 성능을 상대적으로 비교하기 위하여 안정된 상태에서 3분 동안 가동한 것으로 가정하여 수행한 시뮬레이션 결과를 각 돈사별로 비교하였다. 돈사 A의 경우 습식공기정화기를 설치한 Case 4와 같이 유입구에서 유출구 쪽으로 정화된 공기를 배출시키는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 이 경우 폭방향 환기 효율성을 극대화 하기 때문에 기존의 편차를 약 1.33배 향상시킬 수 있었다. 또한 Case 2와 같이 농도가 높은 공기를 한 곳으로 집중시키는 유동장의 경우 암모니아 가스의 절대적인 수치를 감소시키는 데에 가장 효과적인 것으로 나타났으며 이 경우 습식공기정화기의 효율성이 15.3%로 다른 구조들 보다 약 2배 정도의 성능을 보였다. 돈사 B의 경우 습식공기정화기를 설치함으로써 돈방에서 약 3.5%의 암모니아 제거 효과를 나타냈으며, 돈사 C에서는 약 4%의 효과를 나타내었다. 돈사 B에서는 돈군을 대상으로 하였을 때, Case 4의 암모니아 제거 효과가 약 3.9% 로 가장 높아 Case 2 와 비교하여 약 0.7% 더 높은 성능을 발휘할 수 있었던 것으로 나타났다. 이는 Case 4의 경우 돈사의 중앙에서 길이방향으로 정화된 공기를 배출하는 구조를 가지고 있으며 이 중앙 부분은 기본적인 환기량이 높은 부분이기 때문에 정화 능력이 더 크게 작용했던 것으로 판단된다. 돈사 B에서는 돈군을 대상으로 하였을 때, 습식공기정화기를 길이방향으로 배치하여 정화된 공기가 한쪽 방향으로 흐르게 설치한 Case 4에서의 암모니아 제거 효과가 가장 높은 것으로 나타났다. Case 4는 습식공기정화기를 설치하지 않은 경우와 비교하여 암모니아 제거 효과는 약 5.7% 향상되었으며 환기량은 약 24.6% 증가하는 결과를 보였다. 그러나 습식공기정화기가 한쪽 길이방향으로 작동하기 때문에 정화의 효과가 닿지 않는 부분이 생겨 암모니아 농도의 균일성은 약 16.9%, 온도의 균일성은 약 14.1% 떨어지는 결과를 보였다. 반면 두 대의 습식공기정화기를 폭방향으

로 설치한 Case 5의 경우 유동장이 돈사 전체에 고르게 영향을 미쳐 Case 4에 비하여 암모니아 제거 효율은 1% 떨어지는 반면 온도 균일성은 11.4%, 암모니아 농도의 균일성은 14.3% 향상되는 결과를 보였다. 따라서 암모니아 제거 능력만을 고려하였을 때는 Case 4가 균일성 측면에서는 Case 5가 가장 효과적인 배치로 판단된다.

현장실험을 통한 습식공기정화기의 성능 분석 결과 암모니아의 제거 효과는 약 11%로 높은 효율을 보이지 못하는 것으로 판단된다. 또한 유입구에서 공기가 일부 배출되고 유출구를 통하여 공기가 일부 유입되는 등 구조적인 안정성 문제로 인하여 설계한 성능이 제대로 발휘되지 못한 것으로 판단된다. 습식공기정화기는 물을 이용하기 때문에 동절기 상대 습도가 낮은 돈사에서는 오히려 내부 습도의 안정성을 향상시키는데 도움이 되나 하절기나 상대 습도가 높은 돈사에서 사용할 경우 내부 습도가 지나치게 높아질 위험이 있으며 증발 잠열로 인하여 온도를 계속 낮추는 영향을 주므로 온도가 낮은 돈사에서는 온도의 적정성에 문제를 야기할 위험이 있을 것으로 판단된다. 시뮬레이션을 통하여 정화 공기가 배출되면서 설치된 위치 및 방향에 따라 내부의 유동장에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 기계의 성능을 효과적으로 발휘할 수 있도록 구조적인 문제점을 해결하고 효과적인 배치를 판단하기 위하여 본 연구와 같이 공기유동학적 시뮬레이션을 통한 안정성 및 효율성을 분석하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
CFD 시뮬레이션 모델 개발	CFD 툴을 사용한 모델링	돈사 시설 모델링과 돼지 모델의 효과적인 적용 방법 개발
CFD 시뮬레이션 타당성 조사	현장실험과 동일한 조건에서의 모델링 결과 비교 및 모델의 정확도 향상	현장의 환경조건의 재현을 통한 동일 위치에서의 온도 분포 비교 분석
습식 공기정화시스템의 적정위치 결정	다양한 위치에 대한 환기효율성의 비교 분석	Tracer gas decay method를 사용하여 암모니아의 농도 감소를 통한 환기효율성의 비교 분석
현장 실험	센서를 활용한 내부 환경 측정	표면온도계, 다채널 풍속계 등을 사용하여 돈사 내부 및 돼지 표면의 온도 측정과 유입구의 풍속 측정

1. 최종목표 및 내용

최종 목표	내용	비고
습식 공기정화시스템을 적용한 돈사의 적정 환기구조 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 습식 공기정화시스템의 돈사의 기존 환기성능에 미치는 영향 규명 - 환기효율성에 대한 습식 공기정화시스템과 기존환기시스템 상호작용 정량화 - 습식 공기정화시스템의 적정위치 결정 	

2. 연구추진내용

세부연구분야	월 단위 추진계획												소요연구비 (천원)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
분리형 습식 공기정화시스템을 적용한 돈사의 적정 환기구조 설계														20,000

3. 평가 기준 및 달성도

구분	연도	세부연구목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 연도	2006	돈사 환기관련 국내외 자료 및 이론분석	10 %	환기 효율성	100%
		CFD모델의 타당성 조사 및 정확도 향상을 위한 현장실험	20 %	환기 효율성	100%
		유체역학적 (CFD) 시뮬레이션 모델 개발	15 %	공기유동학적 접근	100%
		일체형 습식 공기정화시스템의 CFD 설계	15 %	공기유동학적 접근	100%
		일체형 습식 공기정화시스템의 돈사의 기존 환기성능에 미치는 영향 규명	15 %	환기 효율성	100%
		환기효율성에 대한 일체형 기습기와 기존 환기시스템 상호작용 정량화	10 %	환기 효율성	100%
		일체형 습식 공기정화시스템의 적정위치 결정	15 %	공기정화기의 효율성 극대화	100%
2차 연도		돈사 환기관련 국내외 자료 및 이론분석	10 %	환기 효율성	100%
		유체역학적 (CFD) 시뮬레이션 모델 개발	15 %	공기유동학적 접근	100%
		돈사내 온도, 습도, 공기유동 등 측정	15 %	환기 효율성	100%
		분리형 습식 공기정화시스템의 CFD 설계	15 %	공기유동학적 접근	100%
		분리형 습식 공기정화시스템의 돈사의 기존 환기성능에 미치는 영향 규명	15 %	환기 효율성	100%
		환기효율성에 대한 분리형 기습기와 기존 환기시스템 상호작용 정량화	15 %	환기 효율성	100%
		분리형 습식 공기정화시스템의 적정위치 결정	15 %	공기정화기의 효율성 극대화	100%
최종 평가		일체형 습식 공기정화시스템을 적용한 돈사의 적정환기구조 설계	50 %	환기 효율성	100%
		분리형 습식 공기정화시스템을 적용한 돈사의 적정 환기구조 설계	50 %	환기 효율성	100%
			%		

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- * 추가연구의 필요성, 타연구에의 응용, 기업화 추진방안을 기술
- * 연구기획사업 등 사업별 특성에 따라 목차는 변경 가능함

제 6 장 참고문헌

1. 가축 통계, 2006.12. 국립농산물품질관리원
2. 방승훈, 장동일, 장홍희, 임영일. 1998. 돈사내 암모니아가스 계측시스템 개발. 한국 농업기계학회지 제23권 제4호. pp. 359-364
3. Bjerg, B., K. Svidt, G. Zhang. 2002. Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses. Computers and Electronics in Agriculture 34. pp. 223-235
4. Fluent manual, 2006 , Version 6.2.2. Lebanon, N.H. Fluent Inc.
5. Harral, B. B., C. R. Boon. 1997. Comparison of predicted and measured air flow patterns in a mechanically ventilated livestock building without animals. J. Agric. Eng. Res. 66. pp. 221-228
6. Lee, I., W. Park, B. Yu. 2002. Optimum design of forced ventilation system of piglet house using computer simulation. Presented at the 2002 ASAE annual international meeting. ASAE paper number : 024109. St, Joseph. Mich. :ASAE
7. Lee, I. 2007. Evaluation of CFD accuracy for the study on ventilation of a naturally ventilated broiler house. JARQ
8. NAQS, National agricultural products quality management service, 국립농산물 품질관리원, <http://www.naqs.go.kr>
9. Norton, T., D. Sun, J. Grant, R. Fallon, V. Dodd. 2007. Applications of computational fluid dynamics(CFD) in the modelling and design of ventilation systems in a agricultural industry : A review. Bioresource Technology.
10. Sun, H., R. Stowell, H. Keener, D. Elwell, F. Michel. 2002. Two-dimensional computational fluid dynamics modelling of air velocity and ammonia distribution in a high rise hog building. Transactions of the ASAE 45, pp. 1559-1568
11. Sun, H., H. Keener, W. Deng, F. Michel. 2004. Development and validation of 3-D CFD models to simulate airflow and ammonia distribution in a high-rise hog building during summer and winter conditions. Agricultural Engineering International : the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript BC 04 004. Vol. VI.