



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011 年 8 月

博士學位論文

분뇨순환 돈사의 악취특성 및
제거에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

李 鍾 國

분뇨순환 돈사의 악취특성 및
제거에 관한 연구

A Study on the Odor Characteristics and Reduction
of Livestock Wastes Cycle

2011 年 8 月 25 日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

李 鍾 國

분뇨순환 돈사의 악취특성 및
제거에 관한 연구

指導教授 崔 炯 一

이 論文을 工學博士學位 申請論文으로 提出함

2011 年 4 月

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

李 鍾 國

李鍾國의 博士學位論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校 教授	申 大 允 印
委 員	朝鮮大學校 教授	鄭 京 勳 印
委 員	朝鮮大學校 教授	田 榮 男 印
委 員	光州廣域市 保健環境研究院 部長	白 桂 辰 印
委 員	朝鮮大學校 教授	崔 炯 一 印

2011 年 6 月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vii
ABSTRACT	x
I. 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구내용	3
II. 이론적 고찰	4
2.1 악취의 특성	4
2.1.1 최소감지 값	8
2.1.2 악취 강도	8
2.1.3 희석 배수	8
2.1.4 취기 지수	9
2.1.5 악취물질의 특성	9
2.2 악취 측정	13
2.3 악취 유해성	15
2.4 악취 감지 메커니즘	18
2.5 악취 제거	22
2.5.1 악취저감의 필요성	22
2.5.2 혐기상태에서 발생하는 악취물질	22
2.5.3 생물학적 탈취방법	23
2.6 축산시설의 환경개선제	26
2.6.1 악취저감 첨가제	27
2.6.2 악취저감 첨가제의 사용 방법	36
2.7 미생물의 악취제어	38
2.7.1 악취물질 분해 메커니즘	38

2.7.2	우점화 제제	39
2.7.3	미생물의 분해기작	40
2.7.4	돈사의 환경개선제 사용실태	44
2.7.5	미생물 제제	46
III.	측정 · 분석 및 조사지점	49
3.1	측정 · 분석	49
3.1.1	측정항목의 범위	49
3.1.2	측정 · 분석 방법	51
3.2	조사지점 선정	64
3.2.1	분뇨순환 C 돈사	64
3.2.2	돈사구조 및 환기	69
3.2.3	운영조건	71
3.2.4	분뇨처리방식 및 분뇨발생량 추정	73
IV.	결과 및 고찰	75
4.1	복합악취	75
4.1.1	돈사별 복합악취	76
4.1.2	일반 돈사와 비교	78
4.2	지정악취물질 측정결과	80
4.2.1	Ammonia	80
4.2.2	Hydrogen sulfide	81
4.2.3	황 화합물	83
4.2.4	유기산	84
4.3	악취물질 발생경향	86
4.3.1	Ammonia	86
4.3.2	Hydrogen sulfide	88
4.4	환경개선제	90
4.4.1	주요 미생물	90

4.4.2 주요 미생물의 개체 수	91
4.5 분뇨수질 측정결과	93
4.5.1 일반현황	93
4.5.2 수질 분석결과	95
4.6 돈사별 온·습도 평가	105
4.6.1 돈사의 온도관리	106
4.6.2 돈사의 습도관리	108
4.6.3 돈사의 온·습도 측정결과	110
4.7 악취물질 측정결과와 해석	118
4.7.1 돈사의 주요 악취원인물질	118
4.7.2 수질의 악취농도 영향인자	122
4.7.3 돈사 온·습도와 악취농도의 영향인자	124
4.8 분뇨순환 돈사의 악취저감	131
4.8.1 slurry pit	131
4.8.2 온도	134
4.8.3 악취물질	134
4.8.4 분뇨순환 돈사	135
4.8.5 분뇨처리시설의 체류시간	135
4.8.6 분뇨처리의 기작	136
4.8.7 분뇨처리시설의 순환량 추정	137
4.8.8 분뇨순환 돈사의 사육환경 평가	138
4.9 폭기에 의한 유용미생물 증가 및 유해미생물 억제	141
4.10 미생물제제 급이 양돈의 성장단계별 돈분 퇴비화 특성	145
V. 결 론	147
REFERENCES	149

List of Tables

Table 2.1. Characteristic of odor from major substance	5
Table 2.2. Threshold of 22 designated odor compounds	6
Table 2.3. Damage symptoms of pig caused by odor concentration	9
Table 2.4. Odor measurement test method of various countries	13
Table 2.5. Summary of parameter for odor measurement standard method	14
Table 2.6. Expression of odor maleficence	17
Table 2.7. Reduction of anaerobic bacteria in anaerobic condition cattle waste slurry with Carvacrol(C), thymol(T) and pinene(P)	30
Table 2.8. Aerobic degradation mechanism of microorganism	40
Table 2.9. Registered manufacturer of subsidiary feeder	45
Table 3.1. Effluent quality standard of designated odor compounds	49
Table 3.2. Measuring range of other parameter	50
Table 3.3. Production of recognition test substance(n-butanol) for odor intensity test	52
Table 3.4. Test substance for choosing air dilution test assessor	53
Table 3.5. Analysis condition of sulfur compounds	56
Table 3.6. Analysis condition of organic acid	58
Table 3.7. Specifications of ammonia and hydrogen sulfide automatic measuring equipment	59
Table 3.8. Sampling condition of water quality	63
Table 3.9. Specification of manure circulation system	66
Table 3.10. Comparison between the strength and weakness of manure circulation system and general pig house	67
Table 3.11. Comparison with each case pig house conditions	68
Table 3.12. Usage of environmental enhancer at pig house	72
Table 3.13. Composition of manure treatment facility at C pig house	74
Table 4.1. Emission degree of mixture odor at each pig house (for measuring date)	77
Table 4.2. Emission degree of mixture odor at each pig house	79

Table 4.3. Measurement results in Ammonia for each pig house	80
Table 4.4. Measurement results of hydrogen sulfide at each pig house ...	82
Table 4.5. Measurement results of sulfur compounds at each pig house ...	83
Table 4.6. Measurement results of organic acid at each pig house	85
Table 4.7. Measurement results of ammonia by automatic measuring equipment	87
Table 4.8. Measurement results of hydrogen sulfide by automatic measuring equipment	89
Table 4.9. Analysis results of the microorganism in cultivation	90
Table 4.10. Analysis results of the microorganism in the manure	91
Table 4.11. Changes of pig manure components after aeration and stirring (without liquid and solid separation)	93
Table 4.12. Changes of pig manure components after aeration and stirring (with liquid and solid separation)	94
Table 4.13. Analysis results of water quality(manure) at pig house	95
Table 4.14. Emission results of s-BOD at each pig house	97
Table 4.15. Emission results of n-BOD at each pig house	98
Table 4.16. Emission results of n-BOD at each pig house	100
Table 4.17. Emission results of NO ₃ -N and TKN at each pig house discharge water	102
Table 4.18. Emission results of colon bacillus at each pig house livestock Wastes	103
Table 4.19. Emission results of general bacteria at each pig house livestock Wastes	104
Table 4.20. Operation standard of temperature and humidity at fattening pig house	105
Table 4.21. Production of humidity by floor type	108
Table 4.22. Temperature and humidity measurement results of upper part at each pig house	111
Table 4.23. Temperature and humidity measurement results of withers height at each pig house	113

Table 4.24. Temperature and humidity graphs of withers height at each pig house	115
Table 4.25. Temperature and humidity measurement results at outside of each pig house	117
Table 4.26. Test on the average emission concentration and level of contribution of odor compounds	119
Table 4.27. Measurement results on the temperature, humidity and odor compounds at each pig house	124
Table 4.28. Odor measurement results at inside of C pig house (automatic measurement)	134
Table 4.29. Calculation of manure retention time at C pig house slurry pit	135
Table 4.30. Survey results on the quantity of removal and circulation of C pig house manure	137
Table 4.31. measurement results on the temperature-humidity of C-3 room of pig house	138
Table 4.32. C-3 Survey on the shipping date of C-3 room of pig house	139
Table 4.33. Survey results on farming density	140
Table 4.34. Characteristics of additives at each pig house	145
Table 4.35. The pollutant concentrations of pig manure with feeding feed additives containing microorganism	146

List of Figures

Fig. 2.1. Olfactory system of human(olfactory system).	18
Fig. 2.2. Chemical structure of extracted oils from two plants. (thymol: 5-methyl-2-isopropyl phenol, carvacrol: 5-isopropyl- 2-methyl phenol)	29
Fig. 2.3. Compound structure of CHPT and PPDA	33
Fig. 2.4. A growth curve of microorganism by feeding level	41
Fig. 2.5. Reproduction curve of microorganism	42
Fig. 3.1. Mixture odor measurement and analysis on the pig house	51
Fig. 3.2. Ammonia analyzer (UV/vis Spectrophotometer)	54
Fig. 3.3. Sulphur compound analyzer(GC/FPD)	55
Fig. 3.4. Organic acid analyzer(HS-GC/FID)	57
Fig. 3.5. Monitoring equipment of designated odor compounds (ammonia, hydrogen sulfide)	59
Fig. 3.6. Sampling of microorganism at pig house	60
Fig. 3.7. On-site water sampling at the pig house	63
Fig. 3.8. Outline of manure circulation system	65
Fig. 3.9. Process chart of manure circulation system	65
Fig. 3.10. Inside picture A and B pig house	69
Fig. 3.11. Plan view of each construction of A and B pig house	70
Fig. 3.12. Structure and air circulation of C pig house	71
Fig. 3.13. Structure of slurry pit and ground of C pig house	71
Fig. 3.14. Process chart of manure treatment at A and B pig house	73
Fig. 4.1. Emission distribution of mixture odor from each pig house	77
Fig. 4.2. Emission tendency of mixture odor from each pig house	79
Fig. 4.3. Emission pattern of Ammonia from each pig house	81
Fig. 4.4. Emission tendency of hydrogen sulfide from each pig house	82
Fig. 4.5. Average concentration of hydrogen sulfide in each pig house	82

Fig. 4.6. Emission tendency of volatile fatty acids(VFAs) from each pig house	85
Fig. 4.7. Odor(Ammonia) monitoring results at each pig house	87
Fig. 4.8. Odor(Hydrogen sulfide) monitoring results at each pig house	89
Fig. 4.9. Emission tendency of s-BOD in pig house manure	97
Fig. 4.10. Emission tendency of n-BOD in pig house manure	98
Fig. 4.11. Emission tendency of T-N in pig house manure	100
Fig. 4.12. Emission tendency of NO ₃ -N and TKN in pig house livestock Wastes	102
Fig. 4.13. Emission tendency of colon bacillus in pig house manure	103
Fig. 4.14. Emission tendency of general bacteria in pig house manure	104
Fig. 4.15. Concentration ratio of pathogenic microorganism and pollutants in pig house air by humidity level	109
Fig. 4.16. Temperature and humidity measurement equipment for inside and outside of pig house	110
Fig. 4.17. A temperature graph of upper part at each pig house	112
Fig. 4.18. A humidity graph of upper part at each pig house	112
Fig. 4.19. A temperature graph of withers height at each pig house	114
Fig. 4.20. A humidity graph of withers height at each pig house	114
Fig. 4.21. A temperature graph of slurry pit at each pig house	116
Fig. 4.22. Temperature and humidity graphs of external and internal in each pig house	117
Fig. 4.23. Test on the contribution level at odor in the each pig house	120
Fig. 4.24. Emission concentration of odor compounds at each pig house.	120
Fig. 4.25. Emission tendency of water pollutants(manure) at each pig house	123
Fig. 4.26. Temperature and humidity according of A pig house	125
Fig. 4.27. Concentration changes of Ammonia and hydrogen sulfide of A pig house	126

Fig. 4.28. A temperature and humidity graph of B pig house	127
Fig. 4.29. Concentration changes of Ammonia and hydrogen sulfide of B pig house	128
Fig. 4.30. A temperature and humidity graph of C pig house	129
Fig. 4.31. Concentration changes of Ammonia and hydrogen sulfide of C pig house	130
Fig. 4.32. Picture of manure circulation system at pig house C pig house	131
Fig. 4.33. Farming environment and condition of slurry pit of C pig house	132
Fig. 4.34. Changes of turbidity at influent manure	133
Fig. 4.35. Production of bubble by careless operation and stabilized operating state	133
Fig. 4.36. Odor production graph at inside of C pig house (Automatic measurement)	134
Fig. 4.37. A cross-sectional diagram of fermenter and emission of manure	136
Fig. 4.38. Farming environment of C pig house and structure of room (C-3 room)	138
Fig. 4.39. Changes of microorganism in liquefied manure by aeration and non-aeration treatment	143
Fig. 4.40. Change of odor concentration by aeration and non-aeration treatment	144
Fig. 4.41. Volume reduction rate during composting	146
Fig. 4.42. Concentration changes of Ammonia and CO ₂ during composting	146

ABSTRACT

A Study on the Odor Characteristics and Reduction of Livestock Wastes Cycle

By Lee, Jong-Kuk

Advisor : Prof. Choi Hyung-il

Department of Life Environment Engineering,

Graduate School of Chosun University

Analysis results on the odor emission characteristics and causing factors at livestock Wastes circulation system pig houses are as follows:

1. The concentration of complex odors in pig house C applied livestock Wastes circulation system was relatively lower than A, B general pig houses and concentration of Hydrogen sulfide, designated odor, was similar at each pig house which are 0.23 ppm for A, 0.20 ppm for B and 0.19 ppm for pig house C. Hydrogen sulfide was identified as a major contributor to odor at all pig houses in a contribution level test. Concentration of the ammonia at pig house A was 18.0 ppm and it was much higher than pig house B and C which use environmental enhancers 12.9 ppm and 8.5 ppm respectively.

2. The concentration of organic acid as designated odor compounds was surveyed as follows: 0.14 ~ 0.29 ppm for propionic acid, 0.08 ~ 0.18 ppm for butyric acid, 0.02 ~ 0.03 ppm for n-valeric acid and 0.01 ~ 0.04 ppm for l-valeric acid. The concentration of all compounds was much higher in pig house A than pig houses B and C because pig house A did not use

environmental enhancers and the organic acid concentration of pig house C was the lowest.

There was no significant difference of sulfur compounds between the pig houses caused by usage of environmental enhancers because the concentration of sulfur compounds were identified lower than 0.01 ppm. Organic acid, as well as hydrogen sulfide, was evaluated as a major odor-causing substance, so it must be significantly considered to reduce the odor in the pig house.

3. The concentration of water pollutants was analyzed and the average concentration of pig house A was higher than pig houses B and C. The concentration of s-BOD directly causing the odor at pig house ranged from 228 to 6,510 mg/L and was remarkably lower than the concentration of livestock Wastes after six months, which is 12,876 mg/L, with changes of pig livestock Wastes components after aeration and stirring (with liquid and solid separation). It confirmed that usage of environmental enhancers could lead to lower odor production and the activated states of microorganism in livestock Wastes could be a major factor in reducing odor production.

4. Measurement results of ammonia and hydrogen sulfide by automatic measuring equipment showed that the emission of above compounds is dependent on the amount of ventilation. The concentration of ammonia and hydrogen sulfide was higher at night than during the day and was concluded that the amount of ventilation is increased during the day than at night so that odor substances were emitted outside.

It is concluded that ammonia and hydrogen sulfide at the pig house could be controlled by the amount of ventilation and method and emissions of the two substances are proportional to each other.

The temperature and humidity of all three pig houses were surveyed and complied with the feeding and management criteria. The correlation between external and internal temperature and humidity at the pig houses was relatively low because choosing the optimal method of ventilation could buffer the temperature and humidity.

5. The evaluation of odor emission shows that the concentration of most parameter in pig house C was lower than pig house B because they fed additives containing microorganisms to pigs and sprayed it to the slurry pits and livestock Wastes treatment facility while pig house B only used environmental enhancers.

The livestock Wastes circulation system in pig houses doesn't produce extra solids so it effectively reduces the odor-causing sources by not making solid-liquid separations and composting facility. Because of improvements on the environment, extra profits will be generated such as decreasing of overcrowded farming, mortality intensity, operation and maintenance costs.

This study shows that the effectiveness of treatment at livestock Wastes circulation systems and the usage of microorganisms and the results could be used to develop methods for reducing odors in the pig house and that there is a need to study the specific methods to reduce odors in the pig house.

1. 서론

1.1 연구배경

악취는 일반적으로 여러 화합물들의 혼합물에 의해 야기된다. 이는 인간에게 정신적, 생리화학적 스트레스를 유발시켜 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기 증세 등 인체의 자각반응을 나타내기 때문에 제거해야한다. 현재까지 지구상에는 약 200만종의 화합물이 존재하는 것으로 알려져 있으며, 그 중에서 약 20만종에서 40만종의 화합물이 냄새를 유발하는 것으로 보고되고 있다.

냄새를 유발하는 물질은 유기산류, 알콜류, 아민류, 방향족화합물류, 알데하이드류, 에스테르류, 황화수소류 등 매우 다양하고 물질의 종류에 따라 차이가 있으며, 이러한 물질 일부가 악취로 인식되게 된다. 이 중 축사에서 발생하는 악취 물질은 200여종으로 보고 되고 있다.¹⁰⁸⁾

특히, 2005년 2월부터 악취방지법이 시행됨에 따라 축산분야도 악취에 대한 대응책 마련이 시급한 실정으로 악취방지법 제2조에서는 악취를 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 및 기타 자극성 있는 기체상 물질이 후각을 자극해 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있으며, 소음이나 진동과 함께 감각오염이라 불리는 대기오염의 한 형태로 본다.¹⁰⁸⁾

축사에서 악취 발생물질은 가축, 축사, 사료, 축산분뇨 및 축산분뇨처리시설, 액비와 퇴비 보관시설 등으로부터 발현되고 있으며, 여러 종류의 악취성분이 함께 어우러져 나타내는 복합악취의 성격이 강하다. 최근 이러한 악취성분을 없애기 위해 여러 가지방법이 동원되고 있다. 국내에서도 악취물질의 발생근원을 줄여 쾌적한 환경을 제공하기 위하여 축산업계 등에서도 악취 저감을 위한 기술개발 등 많은 노력을 기울이고 있으며, 정부에서는 가축분뇨를 공동으로 처리하는 가축분뇨 공공처리시설에서 발생하는 악취를 체계적이고 효율적으로 저감시키고자 2011년 2월 5일부터는 악취방지법에서 악취기술진단을 5년 주기로 실시하는 규제를 두어 주변지역의 생활환경 개선에 역점을 주고 있다.

축산분뇨에는 악취발생 근원물질인 유기물이 다량 함유돼 있으며, 더욱이 축분이 혐기상태가 되는 경우 악취발생이 매우 심해지기 마련이다. 따라서 가축분뇨를 비롯한 악취발생 근원물질의 처리에 있어서 무엇보다도 중요한 일은 악취발생을 줄이기 위하여 호기성 상태로 전환하는 것이다. 현재까지 국내에서도 이를 위한

여러 방법이 개발되었고 일부는 현장에 유용하게 이용되고 있으며, 악취 저감방법은 크게 7 ~ 8가지로 나눌 수 있는데 각각의 방법에는 장단점이 있으므로 악취를 발생시키는 시설이나 장치의 크기, 입지의 조건에 따라 사용방법을 달리 생각할 필요가 있다.¹⁰⁸⁾

악취는 흡착, 응축, 흡수, 소각, 생물탈취, 마스크 방법 등을 통해 방제할 수 있다. 이 중 흡착, 응축, 마스크 등의 처리방식은 처리비용이 높거나 효율이 떨어지므로 전처리 혹은 후처리 공정의 악취처리에 부분적으로 적용되는 정도다. 또한 흡수방식은 약품의 화학반응에 의해 악취를 제거하기 때문에 약품비와 반응물질의 재처리비용이 많이 소요된다. 반면 생물학적인 탈취는 높은 탈취효율과 경제성을 동시에 갖추고 있어 최근 들어 많은 주목을 받고 있다.

또한 현재 국내에 유통되고 있는 환경개선제는 토양을 개선시키고 퇴비화를 촉진시키며 악취를 줄이는 것을 주목적으로 하는데, 그 종류는 크게 무기물제제, 미생물제제로 나뉘며 미생물제제는 다시 광합성 균제제, 일반미생물제제, 효소와 미생물의 복합제 등으로 구분한다. 이와는 별도로 효소제, 활성탄, 목초액, 키토산, 해초 및 과일 추출물 등도 일부 사용된다. 효소제의 경우 효소 특유의 기질 특이성을 가지고 있어 이를 이용한 환경개선의 목적에 부합되도록 활용하고 있다. 특히 가축의 생산성 향상과 함께 분뇨량 감소 및 환경오염물질 발생 억제를 위하여 많이 이용된다.¹⁰⁸⁾

악취는 다양한 방법으로 제거할 수 있다. 그러나 대부분의 방법이 처리비용이 높거나 효율이 떨어져 농가에서 부담 없이 이용하기에 부족한 점이 많다. 반면 미생물을 이용하는 생물학적인 탈취방법은 높은 탈취효율과 경제성을 동시에 갖추고 농가들로부터 많은 주목을 받고 있다.

축산업에서의 환경보존과 식품의 안전성이 새로운 패러다임으로 정착되면서 환경의 질을 개선하기 위한 정책적인 노력이 국내·외에서 활발하게 이뤄지고 있는데 세계는 하나라는 취지아래 환경지표의 설정을 통한 환경수준을 국제무역과 연계시키려는 것이 세계적인 흐름이다. 이런 가운데 국내 축산업이 경쟁성 있는 산업으로 지속되기 위해 가장 우선적으로 투자되어야 할 곳은 악취를 줄이고 가축분뇨 액비 및 퇴비의 품질을 개선하는 등의 환경개선사업이라 사료된다.

1.2 연구내용

양돈축사는 악취관리지역 이외에 위치하여 비규제 시설로 분류되어 주거지역에서 민원이 지속적으로 증가되는 추세로 2008년도 악취발생원별 280개 적색사업장 중 축산시설이 32개소를 차지하여 악취발생원적인 측면에서 상당히 높은 비중을 차지하고 있으며, 양돈축사의 대표적인 악취발생원은 돈사 및 분뇨처리시설로 나타남에 따라 사육환경 및 분뇨처리방법의 개선을 통한 악취발생을 최소화시킬 수 있는 방안 마련이 필요하였다.

양돈축사와 악취는 연관성이 깊이 존재하고 있으며, 고농도와 다량의 악취를 유발시키는 악취발생원으로는 가축에서 발생하는 분뇨를 처리하는 시설이라 할 수 있다. 현재 많은 양돈축사에서 적용하고 있는 처리방식은 돈사에서 발생하는 분뇨를 고액 분리하여 액체는 액비로 사용하고, 고체는 퇴비화 시키는 전통방식을 가장 많이 사용하고 있다. 이에 대해 본 연구에서는 분뇨를 돈사에서 지속적으로 배출하여 처리하는 기존의 방식에 상반되는 방식으로 분뇨를 처리한 후 처리수를 돈사하부의 분뇨 저장 슬러리피트로 다시 돌려보내는 방식에 대해 연구를 수행하고자 한다.

이에 대해 본 연구의 대상시설은 기존방식의 형식을 벗어나지 않은 시설을 대조군으로 하고, 기존형식 일반 양돈사업장에 미생물제제가 함유된 환경개선제를 사료에 혼합하여 급이하는 방식을 비교군으로 악취의 특성과 농도를 파악하여 새롭게 개발된 분뇨 처리수 순환돈사와 비교하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 가축 분뇨처리시설에서 악취를 발생시키는 원인인자에 대해 파악하고, 인자를 제거하여 악취를 저감시키는 방법을 제시하고자 가축분뇨 중의 우점화 되어 있는 미생물의 종류와 우점화 개체수 등을 파악하고, 수질오염물질에 대해 분석을 실시하였다.

따라서 양돈시설의 사육환경 및 분뇨처리방법의 개선을 통한 악취발생을 최소화시킬 수 있는 방안을 마련하여 사업자의 체계적인 악취저감 활동을 지원하고, 양돈시설의 공정별 악취발생특성 및 주요원인물질 분석, 발생현황의 면밀한 분석을 수행하여 양돈시설의 악취저감방안을 제시하고자 하는 기초 자료로 활용하고, 연구결과를 축산 악취저감에 적극 활용하며, 축산농가의 악취문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하여 축산시설 악취저감의 기술적 우위 확보를 목표로 한다.

II . 이론적 고찰

2.1 악취의 특성

악취란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 주로 인체 위해성 보다는 정신적·심리적 피해를 끼치는 감각오염의 한 형태이다.

악취는 발생물질의 종류와 배출원이 다양하고, 여러 물질이 복합적으로 작용하며, 생활환경과 사람의 심리상태에 따라서 오염도에 대한 인식이 달라지는 특성도 있어 다른 대기오염물질과는 달리 효과적으로 발생원을 관리하고 저감대책을 수립하는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 악취를 관리하는데 있어 무엇보다 중요한 것은 이러한 악취의 특성을 살피고, 이에 맞게 오염원을 관리해 나가는 것이라 할 수 있다.

악취를 유발하는 물질의 종류는 매우 다양하여, 과거 일본에서 조사한 바에 따르면 주요 악취오염물질만도 1,000여종에 이른다고 한다. 냄새는 물질의 종류에 따라 차이가 있으며, 이러한 물질 중 일부가 악취로 인식되게 된다. 악취종류를 모두 나타낼 수는 없으나, 주요 형태로는 계란·생선 등이 썩는 것과 같은 부패성 냄새, 암모니아성 냄새, 땀 냄새, 강한 자극을 주는 냄새 등으로 구분하여 볼 수 있다.

Table 2.1에 주요 물질별 악취의 특성을 나타내었는데, 일반적으로 악취는 특정한 몇 가지 냄새나는 물질에 의한 것이 아니라, 여러 가지 성분들의 복합적인 영향에 의한 것이다. 이러한 다성분계 냄새의 세기는 냄새를 일으키는 성분끼리의 복합 작용이 있기 때문에, 단순히 성분의 합으로 생각하기에는 어려움이 있다. 악취를 유발하는 화합물에는 지방산류, 황 화합물, 알데하이드류, 아민류 등 산소, 황, 질소와 같은 hetero 원자가 있는 유기화합물이 포함되며, 이들 유기화합물의 최소 감지 값은 0.001 ~ 7 ppm정도로 알콜계나 방향족계의 0.5 ~ 50 ppm에 비해 매우 낮다.

Table 2.1. Characteristic of odor from major substance

화합물	냄새의 특성	원 인 물 질 명
황 화합물	양파, 양배추 썩는 냄새	Methyl mercaptan(CH_3SH) Dimethyl sulfide[(CH_3) $_2\text{S}$] Dimethyl disulfide(CH_3SSCH_3)
	계란 썩는 냄새	Hydrogen sulfide(H_2S)
질소 화합물	분뇨 냄새	Ammonia(NH_3) Ethyl amine($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$)
	생선 썩는 냄새	Methyl amine(CH_3NH_2) Trimethylamine[(CH_3) $_3\text{N}$]
알데하이드류	자극적이며, 새콤하고 타는 듯한 냄새	Acetaldehyde(CH_3CHO) Propionaldehyde($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$) n-Butyraldehyde[$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$] i-Butyraldehyde[(CH_3) $_2\text{CHCHO}$] n-Valeraldehyde[$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$] i-Valeraldehyde[(CH_3) $_2\text{CHCH}_2\text{CHO}$]
탄화수소류	자극적인 신나 냄새	ethyl acetate($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$) Methyl iso-butyl ketone[$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$]
	가솔린 냄새	Toluene($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) Styrene($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$) Xylene[$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$]
지방산류	자극적인 신 냄새	Propionic acid($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$)
	땀 냄새	n-Butyric acid[$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$]
	젖은 구두에서 나는 냄새	n-Valeric acid[$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$] i-Valeric acid[(CH_3) $_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$]
할로겐원소	자극적인 냄새	염소, 불소

악취에 대한 반응도 심리적 요인, 습관, 연령, 성별, 건강상태, 적응정도에 따라 각기 다르게 나타난다. 특히, 생소한 냄새의 경우 익숙한 냄새에 비하여 쉽게 감지하고 불쾌감을 더욱 유발시킬 수 있다. 또한, 한 종류의 냄새에 오랫동안 노출되면, 그 냄새에 익숙하게 되어 더 큰 농도로 변화될 때 그 냄새를 감지할 수 있는 특징을 가지게 된다. 그리고 두 종류 또는 그 이상의 물질이 혼합되어 있을 경우 반응에 의해 악취강도의 상승, 상쇄, 중화 등의 작용을 통해 냄새의 성질이 변화하는 특성을 가지게 된다. 냄새의 유발과 관련된 물리적 인자로는 휘발성, 증

기압, 기체 장력, 용해도, 기온, 습도 등의 요인이 있다.

사람의 후각은 냄새 물질의 식별 면에서 다른 동물과 비교하여 아주 둔한 편에 들지만 어떤 특정한 성분에 대해서는 1 ppm 또는 1 ppb 이하의 농도까지도 감지할 수 있다. 후각은 시각이나 청각과는 달리 사람 개인별로 습관, 연령, 성별, 심리적 요인, 건강상태, 기온, 습도, 피로, 적응정도 등에 따라 다를 수가 있다.

Table 2.2. Threshold of 22 designated odor compounds

구 분	성 분 명	최소감지값(ppm)
Nitrogen containing compounds	Ammonia	1.5
	Trimethylamine	0.000032
Sulfur containing compounds	Hydrogen sulfide	0.00041
	Methyl mercaptan	0.00007
	Dimethyl sulfide	0.003
	Dimethyl disulfide	0.0022
Aldehydes	Acetaldehyde	0.0015
	Propionaldehyde	0.001
	Butyraldehyde	0.00067
	n-Valeraldehyde	0.00041
	i-Valeraldehyde	0.0001
Aromatics	Styrene	0.035
	Toluene	0.33
	Xylene	0.16*
	Methyl ethyl ketone	0.44
	Methyl iso-butyl ketone	0.17
	Butyl acetate	0.016
	i-Butyl alcohol	0.011
Carboxylic acids	Propionic acid	0.0057
	n-Butyric acid	0.00019
	n-Valeric acid	0.000037
	i-Valeric acid	0.000078

* Xylen의 경우 o-, m-, p-값을 산술평균한 값.

o-Xylene : 0.38 ppm, m-Xylene : 0.041 ppm, p-Xylene : 0.058 ppm

이러한 개인적인 특성과 함께 지역특성, 생활수준 등 사회·문화적인 특성에 따라 일정한 냄새를 약취로 인식하기도 한다. 예민한 사람과 둔감한 사람이 약취를 느끼는 정도를 구별하는 한 예로서 최소감지농도(Threshold)는 냄새물질에 따라 10배 이상의 차이가 날 수도 있으며, Table 2.2에 22개 지정약취물질 최소감지 값을 나타내었다.

또한, 동일물질에 대한 후각반응에 있어서도 개인별로 쾌·불쾌를 느끼는 정도에 차이가 있으며, 동일인의 경우에도 냄새를 맡는 빈도에 따라 차이가 있어 단기적으로는 좋은 냄새로 인식되더라도 장기적으로 노출되는 경우에는 약취로 여길 수도 있다. 이와 같이 냄새를 감지하고, 이에 대한 쾌·불쾌도를 인식하는데 있어 사람마다 느끼는 정도가 다르므로 대기 중의 약취오염도를 단순히 농도만으로 표시하기에는 어려운 점이 있다.

약취의 강도와 약취를 유발하는 물질의 농도 사이에는 다음과 같은 대수관계가 성립하는데, 이를 Weber-Fechner 법칙이라 한다.

$$I = k \log C + b$$

I : 냄새(약취)의 세기, C : 약취물질의 농도

k : 냄새물질별 상수, b : 상수(무취농도의 가상 대수치)

이는 약취물질의 농도가 감소하여도 약취의 강도는 농도의 대수에 비례하기 때문에 농도감소에 상응하는 양만큼의 강도로 감소하지 않음을 뜻하며, k 값은 물질에 따라서 다르기 때문에 동일한 농도감소에서도 물질별로 체감되는 약취세기는 다를 수 있음을 의미한다. 예를 들어, k 값이 1인 경우에 약취세기를 1단위 감소시키기 위해서는 냄새물질 농도를 1/10(90% 제거)로 낮추어야 함을 의미한다.

약취는 다른 물질의 영향으로 세기가 커지거나 소멸될 수 있다. 약취를 유발하는 물질은 혼합물 내에서 각 성분에 대해 독립적인 것이 있으며, 중화적인 것, 또는 상가적이거나 상승적인 것도 있다. 이러한 특성을 이용하여 대기 중에 존재하는 약취물질의 농도를 저감하지 않고도 탈취제 또는 방향제를 살포함으로써 약취를 없애거나 은폐(masking)시키기도 한다. 복합성분에 의한 약취의 경우 농도와 약취세기의 관계는 단독성분에 의한 경우에 비해 상당한 차이를 나타내는데 변화율과 상승, 상쇄의 효과는 성분 간의 조합과 구성비에 영향을 크게 받는다. 이에 따라, 개별 물질로는 약취기준 이내인 경우라도 약취가 감지될 수 있으며, 반대로 특정 물질의 농도가 약취를 유발할 수 있는 농도라도 다른 물질의 영향으로 약취가 감지되지 않을 수 있다.

2.1.1 최소감지 값

악취는 개별 물질마다 사람이 느낄 수 있는 최소농도나 냄새의 질이 다르다. 어떤 물질이 사람에게 냄새로 느껴지기 시작되는 최소의 농도를 최소감지 값(최소감지농도, 역치(閾値) 또는 Threshold)이라 한다. 최소감지 값은 사람마다 조금씩 차이를 나타내고 민족이나 연령에 따라서도 차이가 있는 것으로 알려져 있다.

최소감지 값은 탄소와 수소만으로 된 화합물보다 산소, 황, 질소 등 hetero로 원자가 포함되어 있는 화합물들이 대체로 작은 값으로 낮은 농도에서도 냄새가 발생함을 나타내고 있다. 최소감지 값이 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 유발하므로 강한 냄새를 낸다고 할 수 있다.

단일성분의 냄새물질은 일정한 최소감지 값을 갖지만, 두 가지 이상의 물질이 섞여있을 때에는 상승(相乘) 또는 상쇄작용(相殺作用)에 의해 각 성분의 최소감지 값보다 더 높아지거나 혹은 낮아지는 경우도 있다.

2.1.2 악취 강도(Odor Intensity Index)

대기 중의 냄새의 정도를 수치화하여 표현하는 방법으로 우리나라에서는 환경분야 시험·검사 등에 관한 법률에 따른 환경오염공정시험기준의 공기희석관능법, 일본의 6단계 냄새표시법, 미국의 TIA(Total Intensity of Aroma) 등의 방법이 있다. 직접관능법에 의한 악취강도는 최소감지 값 수준의 냄새를 1도, 악취로 인식되지 않을 보통의 수준을 2도(규제기준)로 하며, 기타 악취로 느낄 수 있는 세기를 3 ~ 5도로 규정하고 있다. 미국의 TIA는 무취, 약간 냄새, 확실한 냄새, 강한 냄새의 4단계 척도를 이용하고 있다.

2.1.3 희석 배수

희석배수는 미국 ASTM, D-1292 ~ 70(Standard definition of term relating to water)에서 시료수(試料水)의 악취강도를 나타내기 위해 정의하였던 것으로, 시료수에 무취의 물을 가하여 희석시료에서 최저한도의 냄새를 명확하게 알 수 있을 때의 최대희석배수를 말하며, 후각한계 희석배수라고도 불려진다.

희석배수는 공기시료에 대해서도 동일하게 다루어 질 수 있는데, 사업장 등에서 채취한 시료공기(試料空氣)를 무취공기로 희석하면서 최소감지 값 수준(냄새가 인지되지 않는 순간의 희석치)으로 희석했을 때의 배율로 구할 수 있다.

현행 환경 분야 시험·검사 등에 관한 법률에 따른 환경오염공정시험기준은 5인 이상의 판정 인이 악취를 감지한 희석배수 중 최대, 최소 희석배율을 제외한 희석배수의 기하평균값을 희석배수로 하고 있다.

2.1.4 취기 지수

일본의 악취배출 규제는 특정악취물질이나 취기지수를 기준으로 하고 있다. 취기지수라 함은 악취의 강도를 나타내는 수치로, 냄새가 들어 있는 공기와 물을 냄새를 느끼지 못할 때까지 무취공기로 희석시켰을 때의 희석배수(취기농도)를 통해 계산한다.

$$\text{취기지수} = 10 \times \log (\text{희석배수})$$

예를 들면, 악취시료를 100배 희석하였을 경우, 대부분의 사람이 냄새를 느끼지 못하게 되었다면, 희석배수는 100 이고, 취기지수는 20 이 된다. 또한 악취시료를 30배로 희석했을 때의 취기지수는 15, 취기를 10배로 희석했을 때의 취기지수는 10 이 된다.

2.1.5 악취물질의 특성

Table 2.3에 Ammonia 및 Hydrogen sulfide에 대한 미국 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health) 에서 제시하는 가이드라인을 나타냈다.

Table 2.3. Damage symptoms of pig caused by odor concentration

Hydrogen sulfide		Ammonia	
농도(ppm)	증세	농도(ppm)	증세
5	미국 NIOSH에서 제시한 돈사내부 최대허용농도	11	미국 NIOSH에서 제시한 돈사내부 최대허용농도
20	빛 기피증 식욕부진 신경과민	50	호흡기 질환
50 ~ 200	구토, 설사	100	식욕부진 신경과민
400	의식불명, 폐사	> 300	입과 목 염증발생
		> 3,000	수분 내 즉사

가. Ammonia

Ammonia는 분자량이 17.03이고 무색가스로 0 °C물에는 89.9g/100mL의 비교적 높은 용해도를 나타내고 냄새 특성은 코를 자극하는 냄새로서 호흡기, 피부, 눈 및 점막 등에 매우 자극적인 것으로 알려져 있으며, 돈사에서 분뇨 및 사료 등의 부패로 인해 발생하는 악취물질로 악취방지법에서 배출허용기준을 규정한 지정악취물질이다. Ammonia 냄새는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 축사에서 발생하는 다른 악취물질과 비교해서 비교적 높은 1.5 ppm이며, 표준상태에서는 안정하고 발화의 위험성은 적은 편이나 축사에서 다량 발생할 경우 동물의 성장환경에 영향을 주어 발육에 지장을 초래하는 물질로 발생을 최대한 줄여야 하는 악취물질이다.

나. Hydrogen sulfide

Hydrogen sulfide는 분자량이 34.08이고 무색가스로 20 °C물에서 29g/100mL의 낮은 용해도를 나타내고, 냄새 특성은 썩은 달걀 냄새로서 높은 농도에서 후각의 피로를 쉽게 느끼는 악취물질로 돈사에서 많이 발생하는 악취물질로 악취방지법에서 배출허용기준을 규정한 지정악취물질이다.

Hydrogen sulfide는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 0.00041 ppm으로 낮고, 주요 유해성은 호흡기, 피부, 눈에 자극적인 악취물질로 단기간 노출 시 구역질, 어지러운, 두통, 호흡장애, 폐출혈, 졸음, 현기증, 방향상실, 떨림, 불안, 신경 손상 및 뇌손상 등의 증상이 나타나며, 장기간 노출 시에는 알레르기 반응, 구역질, 식욕 및 성욕감퇴, 체중 저하, 두통, 수면 장애 및 신경 손상 등의 유해성을 지닌 물질이며, 부식성이 강한 악취물질이다.

다. 황 화합물

(1) Methyl mercaptan

Methyl mercaptan은 분자량이 48.11이고 무색가스로 19 °C물에는 41g/100 mL정도 쉽게 녹는 특성이 있고, 냄새 특성은 마늘이나 썩은 양배추 냄새가 나며, 다른 황 화합물과 동일하게 분뇨나 유기물질이 부패되는 과정에서 발생하는 악취물질로 악취방지법에서 배출허용기준을 규정한 지정악취물질이다.

주요 유해성은 호흡기, 피부, 눈에 자극적이며, 중추신경계 저하를 초래하는 악취물질로 단기간 노출 시 구역질, 어지러운, 두통, 심한 경우 피부에 물집이 발생하는

증상이 나타나며, 장기간 노출 시에는 폐에 손상을 가져올 수 있는 악취물질이다. Methyl mercaptan 냄새는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 축사에서 발생하는 다른 악취물질과 비교해서 매우 낮은 0.00007 ppm으로 적은 양이 발생하더라도 전체의 악취기여도에는 높게 영향을 주고 있으며, 발화의 위험성이 매우 큰 편에 속한 악취물질이다.

(2) Dimethyl sulfide

Dimethyl sulfide는 분자량이 62.14이고 옅은 노란색 가스로 물에는 약간 용해되는 물질로 냄새 특성은 부패한 냄새, 가솔린 및 불쾌한 냄새가 나며 분뇨나 유기물질이 부패되는 과정에서 발생하는 악취물질로 악취방지법에서 배출허용기준을 규정한 지정악취물질이다.

환경 독성에 대한 사항은 연구가 많이 이루어지지 않아 명확한 구분은 어려운 실정이나 주요 유해성은 호흡기, 피부, 눈에 자극적이며, 단기간 노출 시 구역질, 호흡곤란, 폐출혈, 설사 등의 증상이 발생할 수 있는 악취물질로 알려져 있다. 그러나 장기간 노출에 대한 유해성은 연구가 미비한 상태로 향후 많은 연구나 검증이 요구된다. Dimethyl sulfide 냄새는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 0.003 ppm으로 적은 양이 발생하더라도 전체의 악취기여도에는 영향을 주고 있으며, 발화의 위험성이 매우 큰 편에 속한 악취물질이다.

(3) Dimethyl disulfide

Dimethyl disulfide는 분자량이 94.14로 높은 편이고 옅은 노란색 액체로 물에는 거의 녹지 않은 물질로 냄새 특성은 썩은 냄새, 마늘 냄새, 불쾌한 냄새가 나며 분뇨나 유기물질이 부패되는 과정에서 발생하는 악취물질로 악취방지법에서 배출허용기준을 규정한 지정악취물질이다. 환경 독성에 대한 사항은 어류나 조류에 적은 양으로도 독성을 야기 시키는 물질이며, 주요 유해성은 호흡기, 피부, 눈, 소화에 자극적이고 수생식물에 독성을 유발시킨다. 다른 황 화합물과 같이 발화의 위험성이 매우 큰 편에 속한 악취물질이다. 또한, Dimethyl disulfide 냄새는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 0.0022 ppm으로 적은 양이 발생하더라도 다른 황 화합물과 같이 전체의 악취기여도에 영향을 주고 있으며, 발화의 위험성이 매우 큰 편에 속한 악취물질이다.

라. 유기산

유기산 물질로 Propionic acid($C_3H_6O_2$), n-Butyric acid($C_4H_8O_2$), n-Valeric acid($C_5H_{10}O_2$), i-Valeric acid($C_5H_{10}O_2$)는 악취방지법에서 2010년부터 지정악취물질로 추가되어 규제하는 물질로 되어 있으며, 유기물이 분해되는 과정에서 쉽게 발생하는 물질로 분뇨 및 사료의 부패 과정에서 발생하여 양돈축사의 전체 악취 발생률에 영향을 주고 있다. 최소감지농도가 낮아 악취기여도가 높은 물질로 대부분의 돈사에서 배출되고 있으며, 악취발생 기여도가 크기 때문에 향후 악취발생 측면에서 세심한 관리가 요구되는 물질로 판단된다.

(1) Propionic acid

유기산 종류 중 Propionic acid는 무색으로 물에 대한 용해도는 거의 없으며, 알코올, 에테르, 벤젠, 아세톤 및 유기 용매에는 녹는 성질을 갖고 있는 물질로 냄새가 고약하고 자극적인 냄새를 풍기며, 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 0.0057 ppm으로 낮은 악취물질로 호흡기 자극, 기침, 호흡곤란, 구역질, 피부 산화 및 독성, 눈에 자극이나 충혈 및 손상을 유발시키는 유해성을 지닌 악취물질이다.

(2) n-Butyric acid

n-Butyric acid는 무색으로 물에 대한 용해도는 거의 없어 일부만 물에 녹는 성질을 갖고 있으며, Propionic acid과 동일하게 알코올, 에테르, 벤젠, 아세톤 및 유기 용매에 녹는 성질을 갖고 있는 물질로 냄새로는 불쾌하고 썩은 냄새를 풍기며, 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 0.00019 ppm으로 낮은 악취물질로 눈의 손상, 피부 손상이나 화상, 소화기 및 호흡기 손상을 유발 유발시키는 유해성을 지닌 악취물질이다.

(3) Valeric acid

Valeric acid는 n-Valeric acid 및 i-Valeric acid 두 종류의 Valeric acid이 지정악취물질로 규제되어 지고 있으며, 무색으로 물에 대한 용해도는 거의 없어 일부만 물에 녹는 성질을 갖고 있으며, Propionic acid 및 n-Butyric acid과 동일하게 알코올, 에테르, 벤젠, 아세톤 및 유기 용매에는 녹는 성질을 갖고 있는 물질로 냄새로는 불쾌하고 썩은 냄새를 풍기며, 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 n-Valeric acid는 0.000037 ppm이고, i-Valeric acid 0.000078 ppm으로 매우 낮은 악취물질들로 눈의 손상, 피부 손상이나 화상, 소화기 및 호흡기 손상을 유발 유발시키는 유해성을 지닌 악취물질이다.

2.2 악취 측정

Table 2.4에 세계 각국의 악취측정시험방법을 나타내었으며, 악취 관리의 기준은 환경기본권으로 불법방해 받지 않을 권리(Nuisance), 민원의 유무(objectionable) 및 악취물질의 농도의 3가지를 기본으로 하여 구분하고 관리된다. 이러한 민원의 유무나 악취물질의 농도는 주로 후각측정법에 의한 복합악취를 기본으로 하고 있으며, 우리나라, 일본, 중국 및 미국의 몇몇 주에서와 같이 악취물질의 농도를 기 분석방법을 사용하고 있으며,

Table 2.4. Odor measurement test method of various countries

지 역	국 가	악취 평가방법
유 럽	네덜란드, 잉글랜드, 독일, 이탈리아, 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 그리스, 아이슬란드, 아일랜드, 룩셈부르크, 노르웨이, 스웨덴, 포르투갈, 스위스	Dynamic Olfactometer
오세아니아	호주, 뉴질랜드	Dynamic Olfactometer
북 미	미국, 캐나다	Scentometer
아 시 아	홍콩	Olfactometer
	한국, 일본, 중국, 대만	Instrumental method Triangular odor Bag

지난 2003년 유럽연합에서 dynamic olfactometer법이 유럽 연합의 공식적인 악취 측정법으로 정해졌다. 3점 비교식 냄새봉지 법을 처음 개발한 일본으로서는 봉지를 이용한 악취희석배수 측정법이 국제적인 공인을 받지 못하게 됨으로써 발생하는 각종 불이익을 줄이기 위해 최근 봉지에 의한 희석배수법의 정도관리와 국제화에 힘을 쓰고 있다.

현재 일본처럼 냄새 봉지를 이용하여 악취의 희석배율을 측정하고 있는 나라는 일본을 포함하여 한국, 대만, 중국 등에서 시행되고 있으며, 국내 환경 분야시험·검사 등에 관한 법률에 따른 환경오염공정시험기준에서 제시하고 있는 후각측정법과 지정악취물질 측정법은 Table 2.5에 나타내었다.

Table 2.5. Summary of parameter for odor measurement standard method

측정 항목	대상 물질	시료채취 방법	분석 방법
복합악취	-	시료채취주머니	공기희석 관능법
Ammonia	Ammonia	용액흡수법, 인산함침여지법	UV/Vis 흡광광도법
Sulfur containing compounds	Methyl mercaptan, Hydrogen sulfide, Dimethyl sulfide, Dimethyl disulfide	시료채취주머니	저온농축 GC/FPD법
Amines	Trimethylamine	산성여과지법, 용액흡수법	저온농축 GC/FID법
Aldehydes	Acetaldehyde, Propionaldehyde, Butyraldehyde, n-Valeraldehyde, i-Valeraldehyde	시료채취주머니 /DNPH법	HPLC법
Aromatics	Toluene, Xylene, Methyl ethyl ketone, Methyl iso-butyl ketone, Butyl acetate, Styrene, i-Butyl alcohol	시료채취주머니 /고체흡착관법	열탈착 GC/MS법
Carboxylic acids	Propionic acid, n-Butyric acid, n-Valeric acid, i-Valeric acid	알칼리함침 필터법	Headspace GC/FID법

2.3 악취 유해성

2005년 2월 10일에 시행된 악취방지법에서는 악취를 "황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖의 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새"라고 정의하고 있다.⁸⁾ 즉, 악취(Odor)라 함은 여러 가지 성분(Odorants)이 혼합된 상태로 존재하면서 사람의 후각을 자극하여 인간의 쾌적한 정서생활과 나아가서는 건강에 피해를 주는 나쁜 냄새를 의미한다. 가축관리 시설, 하·폐수처리장, 매립장 및 유기성 폐기물 등에서 발생하는 악취화합물은 유기물질에 포함되어있는 단백질, 지방, 탄수화물이 미생물의 분해과정을 거치면서 발생하는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds)이 대부분이며, Hydrogen sulfide나 Ammonia와 같은 무기성 가스도 또한 중요한 악취 유발 가스이다.

사람들은 다양한 냄새에 항상 노출되어 살다가 불쾌감을 주는 냄새를 감지하였을 때에 악취라고 판단한다. 즉 악취 자체의 불쾌감에만 초점을 맞추어 악취로 인한 건강상 피해를 간과하기 쉬운데, 최근까지 보고된 연구 결과를 보면 악취로 인하여 눈, 코, 호흡기, 두통, 구역질, 어지러움, 재채기, 가슴 통증, 소화불량, 호흡 곤란, 스트레스 및 기분저하 등의 증상이 발생할 수 있다.⁸⁸⁾ 악취 혹은 악취 유발 화합물은 어떻게 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있는가에 대하여 아래와 같이 나누어 생각해 볼 수 있다.

첫째로는, 악취 화합물에 의한 자극성(irritation) 혹은 독성 유발(toxicological effects)을 일으킬 수 있는 농도가 악취 최소 감지농도보다 매우 낮은 화합물이다. 이러한 성질을 갖는 화합물들은 냄새는 나지 않으면서 인체에 강한 자극을 유발한다.

예를 들면, 살충제 성분인 Methyl isothiocyanate(MITC, the sulfur analog of methyl isocyanate or MIC, the Compounds catastrophically released in Bhopal, India)로써 악취의 최소감지농도는 700ppb이나, 인체에 자극을 일으킬 수 있는 농도(odor irritation)는 70ppb정도이다.⁶⁵⁾

둘째로는, 악취 화합물에 의한 자극성(irritation) 혹은 독성 유발을 일으킬 수 있는 농도가 악취 최소 감지농도와 비슷한 화합물이다. 일반적으로 악취로 인한 자극성은 악취를 감지할 수 있는 최소농도(odor threshold)의 3 ~ 10 배 정도 높은 농도에서 발생한다. 반도체 제조 공정 중에 발생하는 phosphine(PH₃) 가스의 자극 유발 농도(odor irritation)는 0.6ppb로 악취감지최소 농도(odor threshold) 0.3ppb 보다 2배 정도 높다.⁹⁴⁾

셋째로는, 악취의 최소감지농도는 매우 낮으나 자극을 유발할 수 있는 농도는

높은 화합물이다. 이들 화합물은 자극을 일으킬 수 있는 농도 이하이며, 최소감지 농도 이상에서 건강에 유해한 증상을 야기할 수 있다. 이러한 특징을 갖는 대표적인 화합물은 황화합물과 유기 아민류 화합물로서 Hydrogen sulfide와 trimethylamine의 최소감지농도는 각각 0.00041 ppm, 0.000032 ppm이나, TWA에서 제안한 작업장 노출 농도인 threshold limit value(TLV)는 각각 5 ppm, 10 ppm 이다. 이들 화합물들이 노출되었을 경우 신경이 예민해지거나, 구토, 두통 등의 증상이 보고되고 있다. 이처럼, 악취 자극 유발 농도 이하에서 건강상 피해 증상을 보이는 것에 대해서는 명확히 설명되지는 않지만, 악취로 인한 불쾌감, 과거의 경험, 감정 상태 등의 요인이 작용할 것이라고 생각하고 있다.

대부분의 하수처리장, 가축 관리시설 등으로부터 배출되는 단일 악취 화합물 농도는 악취 자극 유발 농도(Odor irritation)를 넘지 않는다고 알려져 있다. 그러나 개별 악취 화합물들이 복합적으로 혼합되어 악취를 유발할 경우에, 시너지 효과로 인하여 악취 자극 유발농도를 초과할 수 있다. 또한, 가축관리시설, 퇴비화 시설, 하수슬러지의 매립처분 시에 발생하는 악취가스에는 독소, 음식물 찌꺼기, 먼지, 미생물, 알레르기를 일으키는 물질 등을 포함하는 bio-aerosols 등과 혼합되어 건강상 피해를 심화시킬 수 있는 "co-pollutant effect" 가 발생할 수 있다.⁸⁸⁾

악취 위해성을 이야기할 때 여러 표현 방법이 있는데 Schiffman et al.(2000)은 그의 연구에서 Table 2.6과 같이 정의하였다. 일반적으로 악취로 인한 건강상 위해는 불쾌감을 유발하는 악취가 장시간 지속되거나 상위에서 설명하였듯이 co-pollutant effect를 동반하였을 때를 제외하고는 악취 감지 수준, 악취 인식수준, 악취 불쾌감 유발 수준에서는 발생하지 않는다. 만성 독성과 급성독성을 일으키는 화합물이 악취를 유발하지 않을 수도 있으나, 대부분 독성을 일으키는 화합물은 특정한 냄새를 지닌다.

Table 2.6. Expression of odor maleficence

냄새 수준 (Odor level)	정의 (description)
최소 냄새 감지 농도 (Odor detection threshold)	주변 환경으로부터 다른 냄새를 감지할 수 있는 수준 (냄새 특성은 구별할 수 없음)
최소 냄새 인식 농도 (Odor recognition threshold)	감지되는 냄새의 특성을 구별할 수 있는 수준 (사과 냄새, 분노 냄새 등)
불쾌감 유발 (Odor annoyance)	감지되는 냄새를 악취로 인식하여 감정상 느끼는 불쾌감을 느끼는 수준(물리적 증상 제외)
악취 반응 (Odor intolerance)	확실하지는 않지만 나타나는 물리적인 증상이 악취 때문일 지도 모른다고 생각하는 수준 (위에서 설명한 악취 화합물의 농도가 자극 유발 농도보다는 훨씬 낮으나, 악취로 인하여 물리적인 피해를 입는 수준)
최소 냄새 자극 농도 (Perceived irritant)	사람이 악취로 인하여 호흡기, 피부, 눈, 코 등에 직접적으로 자극을 느끼는 수준
세포 자극 (Somatic irritant)	개개인의 특성에 관계없이 악취를 유발하는 화합물(악취가 아님)에 의하여 신체상의 부정적인 피해를 입을 수 있는 수준 예) 염소(chlorine) 가스에 의한 세포 손상
만성 독성 (Chronic toxicity)	악취 유발 화합물질에 장기간 노출되었을 경우 건강상 피해를 유발할 수 있는 농도
급성 독성 (Acute toxicity)	악취 유발 독성 물질에 잠시라도 노출되었을 경우 건강상 피해를 유발할 수 있는 농도

2.4 악취 감지 메커니즘

악취로 인한 건강상 및 심미적인 피해는 잠정적으로 감각적 요인과 악취를 유발시키는 화학물 또는 혼합물로부터 기인한다. 악취는 악취화학물이 콧구멍 안의 후각 상피세포 수용체에 흡착되어 느껴지는 감각이다.

Fig. 2.1에 인체의 후각구조에 대해 나타내었으며²¹⁾, 후각은 환경 중의 다양한 정보를 제공하여 줄 수 있다. 인체의 후각(Odor sensation)을 담당하는 기관은 크게 후각상피(Olfactory epithelium)와 후각을 담당하는 후구(Olfactory bulb) 그리고 후각피질(Olfactory cortex)로 구성되어 있다.

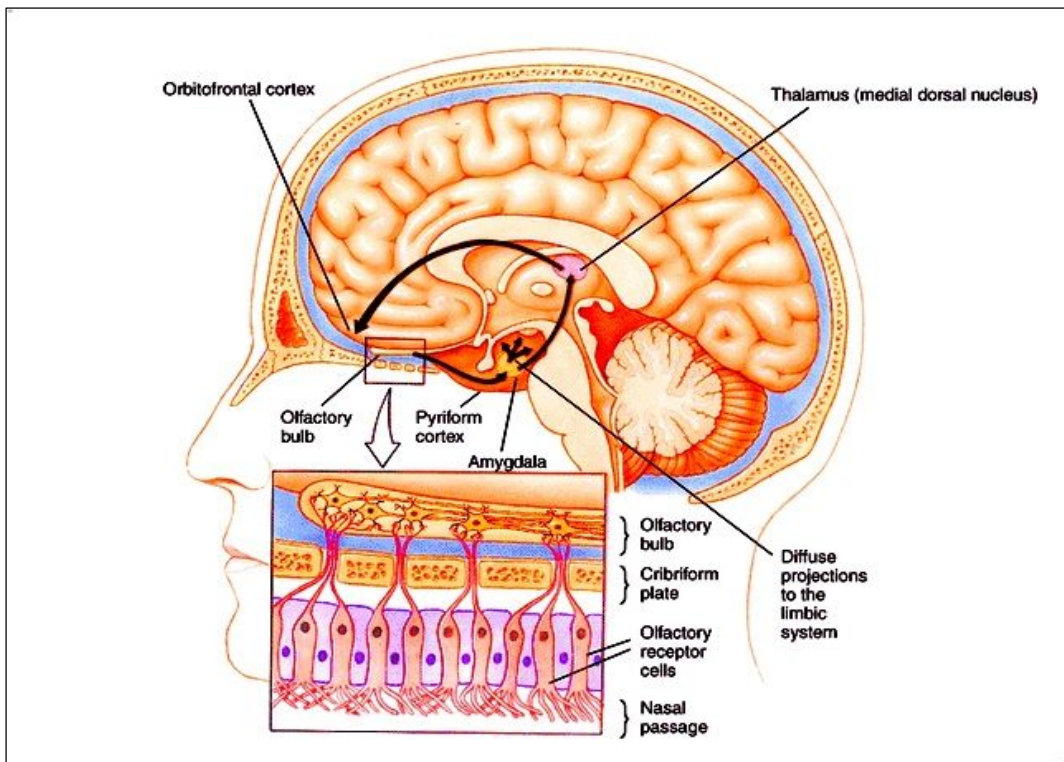


Fig. 2.1. Olfactory system of human(olfactory system).

후각상피는 콧구멍 안의 상부에 대략 5cm² 면적에 약 10⁷ ~ 10⁸ 사이의 후각 뉴런을 가지고 있다.⁶⁰⁾ 그러나 실제적으로 각 뉴런은 단지 약 100 ~ 1,000가지 후각 수용체 타입으로만 존재하여 그 중 단 한 가지만 발현해서 표면에 표출하는 것으

로 알려져 있다. 냄새가 뉴런을 흥분시키면 그 신호가 액손(Axon)을 통해 후구(Olfactory bulb)로 전달된다. 후구는 뇌 앞부분에 있는 구조로써, 냄새 감각의 정보 교환 기관이라고 할 수 있다. 후구에서는 후각 뉴런에서 전달된 전기적 냄새 신호를 뇌 피질(Olfactory cortex)과 변연계(Limbic system)로 모두 전달시키는 역할을 하며, 뇌 피질에서 보다 높은 차원의 전기적 냄새 신호로 변화시켜 중추신경계로 전달 시켜서, 각 실제 정보가 전달될 뿐만 아니라 감정적 반응이 일어나는 것이다.⁶⁰⁾

각각 냄새 수용체가 특정 냄새를 인식하기보다는 뇌의 뉴런에서 특정 냄새 반응이 나타나도록 하기 위해 이른바 수용체 “알파벳”을 이용한다는 것이다. 언어에서처럼 후각 시스템은 다양한 냄새(어휘)를 말하는데 필요한 수많은 수용체(글자) 숫자를 줄이기 위해 수용체(단어) 조합을 이용한다. DNA가 A, C, G, T 염기를 조합해서 유전 정보를 저장하듯이 자연계에서 결합 코드를 이용하는 것은 드물지 않지만, 포유류 후각 시스템을 구성하고 있는 신경 역시 결합법을 사용한다. 쥐 뉴런을 여러 가지 냄새 물질에 노출시킨 후, 칼슘 영상화(Calcium imaging)라는 기술을 이용해 어떤 뉴런이 특정 냄새에 자극되는지 관찰했다.

냄새 분자가 수용체에 결합하면 신경 막에 있는 칼슘 채널이 열리고 칼슘 이온이 안으로 들어옴으로써 전기적 신호가 액손을 통해 전달되는데, 칼슘 영상화 기술은 칼슘 이온 유입을 측정할 수 있는 방법이다. 그 결과 세 가지 사실을 알 수 있었다.

첫째, 한 개 수용체가 여러 가지 냄새를 인식할 수 있다는 것이다.

둘째, 한 개의 냄새는 보통 여러 개의 수용체에 의해 인식되며,

셋째 각기 다른 냄새도 여러 가지 수용체의 조합에 의해 인식된다는 것이다. 즉 후각 시스템은 냄새를 맡기 위해 결합 코드 체계를 이용하는 것이다.

달리 말하자면 조합을 달리하면 1,000개의 수용체로 수천 가지 냄새를 맡을 수 있다는 것이다. 그 예로 한 가지 실험에서 화학 물질 구조를 약간만 바꾸자 다른 조합의 수용체가 활성화되었다. 옥탄올(octanol)은 오렌지와 비슷한 냄새로 인식을 하지만, 비슷한 구조인 옥탄산(octanoic acid)은 땀 냄새와 비슷한 반응으로 일어났다. 또한, 같은 화학 물질이라도 소량보다는 다량으로 존재할 때, 다양한 수용체와 결합하여 악취를 유발하기도 한다. 예로 인돌(indole)은 소량 있으면 꽃 냄새와 비슷하지만, 다량으로 있으면 썩은 냄새가 나는데 여기에서 동일한 이유를 찾을 수 있다.

냄새를 감지하고 인식하는 메커니즘은 아직까지 완전히 이해되고 있지는 않지만, 후각상피세포 수용체는 악취화합물과 반응하여 특정신호를 후각 후두와 후각 피질을 거쳐 최종적으로 뇌까지 전달되어 특정 신호에 대한 냄새 특성을 해석하게 된다. 냄새특성은 감지되는 냄새에 대한 표현으로 비린내, 분뇨, 습지, 석유냄새 등과 같다.⁷⁰⁾

어떠한 냄새인지를 표현하는 단계는 생리적 감지단계(Pphysiological reception)와 심리적 판단(Psychological interpretation)의 두 단계를 거치는데, 특정 냄새에 대해 심리적으로 감지하는 차이는 사람마다 차이를 보이는데 일반적으로 나이를 먹어 늙어감에 따라 점차 상실된다고 보고되고 있다.⁷⁰⁾ 성별에 따른 냄새감지 능력 차이에 대한 많은 연구보고서에서는 특정한 통계적 유효성을 얻지 못하였다.²¹⁾

냄새인식에 대한 또 다른 상반된 연구 결과가 있는데, 특정 냄새가 나는 곳에 지속적으로 노출될 때에는 일반적으로 냄새 감지 능력이 감소하는데 이것은 특정 냄새에 대한 적응력 및 후각을 담당하는 기관이 피로감을 느끼는데 원인이 있다.⁷⁰⁾ 이에 반해, 특정 냄새에 반복적으로(지속적인 노출이 아님) 노출되어 있을 때에는 그 냄새에 대한 인지능력이 크게 증가하는 것으로 나타났다.²¹⁾

이와 같은 연구결과는 산업장, 하수처리장, 가축관리시설 및 쓰레기 재활용 시설에서 종사하는 근로자들이 지속적으로 발생하는 악취에 대해서 덜 민감한 반면에, 악취 발생원 주변 주민들은 산발적으로 그리고 반복적으로 발생하는 악취에 대하여 민감하게 반응하는 사실로 설명할 수 있다.

냄새의 생리적 차이에 따른 감지 단계를 거쳐 심리적 판단과정에서는 인지되는 냄새가 강한지 혹은 약한지, 불쾌한 냄새인지 기분 좋은 냄새인지 등에 대하여 과거 경험에 비추어 판단하게 된다. 심리적 판단과정에서는 성별/과거 경험/나라/인종/문화/나이 등 여러 사회적 요인에 의해 크게 좌우된다.⁶¹⁾

악취유발 화합물은 또한 서로 다른 4개의 뇌신경[삼차신경(trigeminal), 미주신경(vagus), 고실(chorda) 그리고 혀에서 뇌에 이르는 자각신경으로 이루어진 설인신경(glossopharyngeal nerves)]의 자유말단 신경을 자극한다.

먼저 삼차신경의 후각신경은 눈, 코, 볼 그리고 혀 앞쪽의 2/3 가량에 분포되어, 화합물(chemical), 열(thermal), 고통(pain), 마찰(mechanical) 그리고 움직임(movement/position)등의 서로 다른 자극에 반응한다.⁷⁰⁾ 악취성 화합물과 먼지 등에 의해 자극받는 삼차신경은 고통(irritation), 간지럼, 바늘로 찌르는 듯한 따끔함, 뜨거움 등의 감각을 크게 느끼게 된다.²¹⁾

미주신경 내의 자유 말단 신경에서는 목구멍, 기도(trachea) 그리고 폐 안에 자극을 전달하고 고실 신경 내의 자율신경은 혀 앞부분에 입으로 숨을 쉴 때 자극을 전달한다. 그리고 설인신경 내의 자유말단 신경에서는 이러한 자극을 혀 뒤쪽으로 전달한다. 이처럼 동일한 화합물이 동시에 냄새와 자극을 유발 시킬 수 있다.

악취 물질은 ammonia(자극적인 냄새), acetic acid(식초 냄새), styrene(플라스틱고무 냄새, 양파 썩는 냄새), benzene(신나 냄새), butyl-aldehyde(걸레 썩은 냄새), acetaldehyde(곰팡이 냄새), xylene(탄 냄새), amine류(methyl amine, tri-methyl amine, aniline)(비린내), methyl mercaptan, methyl iso-butyl- ketone(유황 냄새), hydrogen sulfide(계란 썩는 냄새), toluene(나프탈렌, 고무 냄새), acrylonitrile(양파, 마늘 냄새), 복합 악취(화약 냄새) 등의 냄새가 발생한다.

또한, 이들 화합물들의 주요 발생원 및 지역적 혹은 계절적인 풍향에 따라 발생할 수 있는 피해지역을 악취 특성과 함께 나타내고 있어 악취 민원이 발생하였을 때 신속히 대처할 수 있도록 하였다.

2.5 악취 제거

악취는 다양한 방법으로 제거할 수 있다. 그러나 대부분 처리비용이 높거나 효율이 떨어져 농가에서 부담 없이 이용하기에 부족한 점이 많다.

반면 미생물을 이용하는 생물학적인 탈취방법은 높은 탈취효율과 경제성을 동시에 갖춰 농가들로부터 많은 주목을 받고 있다.

축산업에서의 환경보존과 식품의 안전성이 새로운 패러다임으로 정착되면서 환경의 질을 개선하기 위한 정책적인 노력이 국내외에서 활발하게 이루어지고 있다. 세계는 하나라는 취지아래 환경지표의 설정을 통한 환경수준을 국제무역과 연계시키려는 것이 세계적인 흐름이다. 이런 가운데 국내 축산업이 경쟁성이 있는 산업으로 지속되기 위해 가장 우선적으로 투자되어야 할 곳은 아마도 악취를 줄이고 가축분뇨 액비 및 퇴비의 품질을 개선하는 등의 환경개선사업이 아닌가 싶다.

2.5.1 악취저감의 필요성

2005년 2월부터 악취방지법이 시행됨에 따라 축산분야도 악취에 대한 대응책 마련이 시급한 실정이다. 악취방지법 제2조에서는 악취를 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖의 자극성이 있는 기체상태의 물질이 후각을 자극해 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있으며, 소음이나 진동과 함께 감각오염이라 불리는 대기오염의 한 형태로 본다. 악취는 일반적으로 여러 화합물들의 혼합물에 의해 야기된다. 이는 인간에게 정신적, 생리 화학적 스트레스를 유발시켜 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기증상 등 인체의 자각반응을 나타내기 때문에 즉시 제거해야 한다. 현재까지 지구상에는 40만 여종의 취기성분이 있는 것으로 알려졌다. 이 중 축사에서 발생하는 악취물질은 학자에 따라 다르지만 200여종으로 보고됐다. 축사에서 악취 발생물질은 가축, 축사, 사료, 축사 내 먼지, 축분뇨 등으로부터 발현되고 있으며 여러 종류의 취기성분이 함께 어우러져 나타내는 복합악취의 성격이 강하다.

최근 이러한 취기성분을 없애기 위해 여러가지 방법이 개발 및 적용되고 있다.

2.5.2 혐기상태에서 발생하는 악취물질

국내에서도 악취물질의 발생근원을 줄여 쾌적한 환경을 제공하기 위해 축산업계 등에서도 악취 저감을 위한 기술개발 등 많은 노력을 기울이고 있으며, 2011년 2월

부터 개정 시행된 악취방지법에서는 공공으로 가축분뇨를 처리하는 시설에 대해 악취기술진단 제도를 도입함으로써 국가적인 차원에서 악취를 저감하고자 하는 정책도 수반되고 있다.

축산분뇨에는 악취발생 근원물질인 유기물이 다량 함유돼 있다. 더욱이 축산분뇨가 혐기상태로 되는 경우 악취발생이 더욱 심해지기 마련이고 아울러 열악한 환경에 노출된 동물의 생육에 영향을 주어 축산업계에 막대한 지장을 주고 있다. 따라서 가축분뇨를 비롯한 악취발생 근원물질의 처리에 있어서 무엇보다도 중요한 일은 악취발생을 줄이기 위한 호기성 상태로의 전환이다.

현재까지 국내에서도 이를 위한 여러 방법이 개발됐고 일부는 현장에 유용하게 이용되고 있다. 악취 경감방법은 크게 7 ~ 8가지로 나눌 수 있는데 각각의 방법에는 장단점이 있으므로 악취를 발생시키는 시설이나 장치의 크기, 입지의 조건에 따라 사용방법을 달리 생각할 필요가 있다.

2.5.3 생물학적 탈취방법

악취는 흡착, 응축, 흡수, 소각, 생물탈취, 마스크 방법 등을 통해 방제할 수 있다. 이 중 흡착, 응축, 마스크 등의 처리방식은 처리비용이 높거나 효율이 떨어지므로 전처리 혹은 후처리 공정으로 악취처리에 부분적으로 적용되는 정도다. 또한 흡수방식은 약품의 화학반응에 의해 악취를 제거하기 때문에 약품비와 반응물질의 재처리 비용이 많이 소요된다.

반면 생물학적인 탈취는 높은 탈취효율과 경제성을 동시에 갖추고 있어 최근 들어 많은 주목을 받고 있다. 현재 국내에 유통되고 있는 환경개선제는 토양을 개선시키고 퇴비화를 촉진시키며, 악취를 줄이는 것을 주목적으로 한다. 그 종류는 크게 무기물제제, 미생물제제로 나뉘는데 미생물제제는 다시 광합성 균제제, 일반미생물제제, 효소와 미생물의 복합제 등으로 구분한다. 이와는 별도로 효소제, 활성탄, 목초액, 키토산, 해초 및 과일추출물 등도 일부 사용된다.

효소제의 경우 효소 특유의 기질 특이성을 가지고 있어 이를 이용한 환경개선의 목적에 부합되도록 활용하고 있다. 특히 가축의 생산성 향상과 함께 분뇨량 감소 및 환경오염물질 발생 억제 측면으로 많이 이용된다.

가. 환경개선제의 미 검증

생균제는 장내 미생물 균형을 변화시키는 세균 및 그 부산물로서 주로 양분의 공급, 소화율 향상, 유해세균의 억제 등의 목적으로 사용돼 왔다. 최근 들어서는 약취물질의 전구체를 먹이로 증식함으로써 약취를 효과적으로 제거하는 기능을 하는 제제들도 속속 개발돼 종류가 점차 다양해지는 양상을 보이고 있다. 이와 같이 환경개선의 목적에 사용되는 제제들은 고체나 액체 등 다양한 성상으로 유통되며 대체로 가축에 급이 하거나 축사에 살포하는 방법으로 이용된다. 퇴·액비 제조 시 그 제조공정에 투입하는 용도로도 널리 쓰인다.

현재 유통되고 있는 미생물제제는 750여 품목으로 추정되고 있다. 동물용 의약품으로 등재된 제품에 대해서는 약사법에 의해 사후관리가 이뤄지고 보조 사료로 이용되고 있는 제품들은 사료관리 법에 의해서 관리될 수 있지만 제도권 밖에서 유통되고 있는 제품은 그러하지 못하다. 환경개선 목적의 제품은 허가나 신고 없이 수입해 유통될 수 있기 때문이다.¹⁰⁸⁾

나. 환경개선제 관리제도

물론 몇몇 수입 미생물제제들은 가축 장내의 이상발효, 설사 및 변비예방 등에 좋은 효과를 나타낸다. 그러나 대부분 제품들의 유해성 평가, 경제성, 효능 검증 등은 대체로 미흡한 실정이다. 또한 사후관리가 전혀 이뤄지지 않는 실정이므로 효능이 없을 경우 크든 작든 농가의 피해가 예상된다.

어찌됐든 친환경 축산을 영위하거나 민원의 소지를 제거하기 위한 환경개선제의 이용은 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 배합사료업계는 미생물을 주성분으로 한 발효축진제를 사료에 첨가함으로써 약취를 줄여나간다는 계획이며, 동물약품업계도 약취를 없애거나 줄일 수 있는 제품을 속속 개발해 나가고 있다. 따라서 축산농가가 이들 환경개선제를 안심하고 선택할 수 있도록 효능과 효과가 확실한 제품만이 유통되도록 모든 제품을 제도권으로 유입시켜야 한다. 아울러 제품들을 검증할 수 있는 기관을 선정해 분석된 결과를 첨부토록 해 이를 바탕으로 농가가 믿고 이용할 수 있는 기반을 마련해야 할 것이다.

다. 환경개선제 선정 시 고려사항

환경개선제는 사용자의 입장에서는 성격을 잘 파악해 주어진 환경에서 최대의 효과를 발휘할 수 있도록 해야 하며 공급자는 품질관리 및 사후관리를 한층 강화해 시장에서 요구하는 우수제품을 제조하여 공급해야 한다.

환경개선제를 투여하다 중지하면 효과가 감소된다는 것은 동물실험에서 입증되고 있다. 따라서 생산자가 권장하는 환경개선제의 유의사항도 잘 숙지해 준수함도 중요하다. 또한 종류가 다양하기 때문에 농가가 환경개선제를 선정할 때는 전문가의 도움을 받아야 할 것으로 사료된다. 악취는 눈에 보이지 않는 감각적 오염이므로 이를 방제하는 방법에는 여러 가지가 있으나 방제기술이 정착했다고 보기에는 아직 미미한 점이 많다. 악취방제기술은 어느 부분에서는 고도의 기술을 필요로 하는 첨단 기술이다.

사실 축사에서 발생한 악취를 완전히 없앤다는 것은 불가능하다. 하지만 악취방지법에 대응하고 축산업이 살아남기 위해서는 보다 적극적인 축산분뇨 분리시스템 활용이나 악취물질의 특성을 고려한 저감 방안 등을 마련해 나가야 한다. 이에 필요한 기술개발 또한 시급히 이루어져야 할 것으로 생각된다.¹⁰⁸⁾

라. 축사관리 및 환경개선제 이용

결론적으로 축사의 악취물질을 효과적으로 제어하기 위해서는 자주 축사를 청소해 주는 동시에 생균제나 효모제를 뿌려주는 등 생물학적 탈취책을 병행한다면 더 높은 효과를 기대할 수 있을 것이다. 아울러 사료 급이 시 기능이 다양한 악취저감 미생물제제를 함께 급이하고 축사 내부에는 바이오필터시스템을 설치하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

먼지와 악취물질을 발생하는 즉시 제거하는 동시에 축분과 뇨를 분리 배출하고 분뇨를 축사 내에 장기간 묵혀두지 않는 습관도 중요하다. 이렇게 냄새를 줄이는 사양관리와 악취저감기술을 접목해 나간다면 우리 축산업의 입지를 위협하는 악취를 확연히 줄일 수 있을 것으로 확신한다.¹⁰⁸⁾

또한 쾌적한 환경 조성 and 사육조건의 질적 향상으로 동물의 생장이 활발히 이루어져 안정성이 있는 축산사업이 될 것으로 기대된다.

2.6 축산시설의 환경개선제

일반적으로 악취성 화합물들은 주로 혐기성 조건 하에 분뇨의 혼합물이 박테리아에 의해 분해되는 저장시스템에서 발생하고 축적된다. 악취를 발생시키는 미생물 종은 다양하며, (*Streptococcus*, *Peptostreptococcus*, *Eubacterium*, *Lactobacilli*, *Escherichia*, *Clostridium*, *Propionibacterium*, *Bacteroides*, *Megasphaera* 등) 그 중에서도 *Eubacterium*(자극적인 Long-chain fatty acid 생성)과 *Clostridium*(비교적 광대한 환경조건에서 살 수 있으며, 주요한 악취성 물질인 휘발성유기산(VAFs) 혼합물 들을 발생시킴)이 악취성 물질 발생의 주요 원인 미생물 군이다. 양돈분뇨에서 발생하는 악취성 물질은 Volatile fatty acid(아미노산의 탈 아미노화), Indole 및 Phenol, Ammonia 및 휘발성 amines, 그리고 휘발성 황 함유화합물(황산염의 환원 및 황 함유 아미노산의 물질대사 등)이 있다.

악취에 대한 지시화합물로서 알코올, VOC, Ammonia, Indole 및 skatole, Hydrogen sulfide 등이 연구되어 왔으며, 이 중에서도 VFAs가 악취발생 메커니즘을 해석할 수 있는 가장 적절한 화합물로서 사용되고 있다. 악취제어 기술은 우선 pH와 온도제어 방법이 사용되고 있다. 즉 악취발생 미생물들의 생성조건 pH가 대부분 중성임을 이용하여 산/염기 처리하는 방법과 악취를 감소시키는 미생물들을 높은 온도에서 배양시켜 활성화시키는 방법이다. 그러나 pH 처리는 산성에서 Hydrogen sulfide가 발생할 수 있고, 염기성에서 Ammonia가 발생할 수 있기 때문에 위험하며, 온도를 높이는 문제도 실제 시스템에 적용하기에는 비용적인 문제가 발생한다. 악취제어 방법에는 또한 폭기에 의한 악취감소 방법이 있다.¹⁰⁹⁾

지금까지는 폭기장치의 개선에 중점을 주었지만, 실제로 호기성 미생물들의 역할이 매우 중요하기 때문에 이들 미생물들의 특성에 대한 많은 연구가 필요하다. 과거에는 혐기성 Lagoon에 의한 악취제어 시도가 많이 이루어졌는데, 이 방법은 낮은 온도에서 운영되기 때문에 메탄 생성균 등이 충분히 자라지 못하여 악취감소가 거의 일어나지 않는다는 단점이 있다. 현재 악취제어를 위하여 미생물 첨가제를 투입하는 방법들이 많이 연구되고 있지만, 대부분 실험실에서 얻은 결과들이 실제로는 적용되지 않는다는 문제점이 있다.¹⁰⁹⁾

왜냐하면 우선 실험실과 실제 환경 조건이 매우 상이하며, 배양에 성공하더라도 분뇨의 고유한 미생물들이 우점종이 되기 쉽기 때문이다. 따라서 미생물 첨가제를 적용하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

2.6.1 악취저감 첨가제

첨가제라고 하면 축산시설 및 폐기물로부터 발생하는 악취 및 오염물질들을 저감시키기 위해 축산폐기물 및 시설에 적용하는 물질로서 정의되어 진다. 오랫동안 첨가제에 대한 연구들이 진행되어오고 있는데, 그 특성에 따라 크게 분류하면 사료 등에 혼합하여 급이하는 소화제로 사용하는 미생물제제, 식물추출제, 은폐제, 요소분해 효소억제제 및 산성화 첨가제 등 많은 종류의 첨가제를 이용하여 축사에서 발생하는 악취를 저감하기 위해 사용하고 있다.

가. 미생물제제

Lido and Bundy(1994)와 Barrington(1994)에 의하면 소화제는 미생물첨가물으로써 생화학적 기작을 통하여 가스상 오염물질 발생을 저감시키거나 악취를 제거 혹은 축산폐기물의 생분해를 증진시키는 미생물효소 또는 선택된 미생물종으로 구분된다. 현재 시판되어지는 미생물제제의 구성성분이나 미생물제제의 작용기작에 대해서는 많이 알려져 있지 않다.

Ritter(1981)에 의하면 일반적으로 미생물제제의 효능은 전반적으로 매우 낮은 것으로 나타났지만 그럼에도 불구하고 실험실 수준의 연구보다는 실제 현장에서 적용했을 때 Ammonia의 배출을 잘 감소시키는 것으로 나타났다.

Grubbs(1979)는 미생물제제가 효능을 발휘하기 위한 가장 큰 조건은 축산 폐기물에 첨가한 미생물제제의 미생물이 환경에 잘 적응하여 잘 성장하고 번식하여 우점종이 되어야만 한다고 주장했다. 즉 적용되어진 축산 폐기물의 온도, pH, DO, 영양분 그리고 독성에 민감하지 않아 잘 적응할 수 있는 미생물제제라야 한다.

Ritter(1989)는 미생물제제를 투여하였을 때 오직 악취 화합물의 한 두 종류만 저감되었다고 미생물 제제의 효용성을 낮게 평가하였다. 문제는 제거되어지는 화합물을 유발하는 핵심 화합물이 아닐 수도 있다는 데 있다. 주요 악취화합물을 저감시킬 수 있는 미생물 종에 대한 연구가 최근 들어 활발히 진행되고 있는데, Zhu and Jacobson(1999)에 의하면 Eubacterium과 Clostridium이 악취를 유발시키는 주요 bacteria라고 규명하였다. 일반적으로 단백질 및 탄수화물의 분해 시에 발생되어지는 아미노산의 deamination으로부터 발생되어지는 VFAs에 관여하는 미생물에는 *Eubacteria*, *Peptostreptococcs*, *Bacteroides*, *Streptococcs*, *Escherichia*, *Megasphaera*, *Clostridium* 등이며, Volatile sulfur- containing compounds 생성

관여 미생물 등이 있다.(Zhu, 2000)

그러나 약취를 유발시키거나 약취화합물의 생성을 방해 및 분해하는 미생물들의 기작 규명에 대한 더 많은 연구들이 필요하다고 결론짓고 있다. 또한 상업적으로 판매되는 미생물제제에 대한 효용성 평가는 아직 명백하지 않다. 앞으로 미생물제제의 mechanism에 대한 연구가 필요하다.

나. 식물추출제(Plant extracts)

약취 저감제로서 갖추어야 할 기본조건으로 적용되어진 곳의 동·식물 및 환경에 유해하지 않아야 하며, 축산 농가에서 쉽게 적용할 수 있으면서 가격 면에서 부담이 없어야 한다. 이 조건을 충족시키기 위하여 오래전부터 식물에서 추출한 무해한 약취 저감제에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다.

식물추출약취 저감제로는 주로 Yucca 나무로부터 추출된 Saponins이란 고분자 배당체(탄수화물분자가 들어 있어서 당분·알코올·페놀 따위로 가수분해 되는 주로 식물성의 물질)가 이용되고 있다.

Yucca추출물의 약취저감 기작은 명확히 밝혀지지 않았다. 다만, Mader과 Brumm(1987)은 urea inhibitor로써 작용한다고 주장하였으나 최근 들어 NH_4^+ 를 변화시키거나 혹은 NH_4^+ 유지시키는 등의 기작에 의한 약취 저감 이론 쪽으로 기울어지고 있다.(Headon et al, 1991) Saponins은 축산사료나 slurry에 투여되는데, Headon and Walsh(1993)은 양돈분뇨에 2차례 투여하여 Ammonia의 농도 저감을 관찰하였고, Amon et al.,(1995)

또한 동일하게 양돈분뇨에 작용하여 Ammonia 배출량의 26 % 저감효과를 관찰하였다. 이는 Kemme et al.,(1993)의 연구에서 얻어진 23 %의 Ammonia저감 효율과 비슷한 수치이다.

Amon et al.,(1997)은 Saponins을 산란계의 먹이에 급이하여 50 %의 Ammonia저감효율을 관찰하였다. 그러나 Johnston et al(1981)의 연구에서는 동일하게 Saponins을 산란계 먹이에 같이 주입하였을 때 Ammonia의 저감을 전혀 관찰하지 못하였다.

Andersson(1994) 및 Martinez et al.,(1997)에 의한 연구에서도 Saponins에 대한 약취저감 효율(특히 Ammonia를 중심으로)은 크지 않을 것으로 결론지었다. 경우에 따라 Ammonia의 저감효율의 차이를 보이는 이유에 대한 지속적인 연구가 수행되어져야 한다.

또 다른 식물추출 약취 저감제로는 살균효능을 지닌 식물 추출 오일로서 phenolic compounds, alcohols, aldehydes, ketones, ethers 그리고 hydrocarbons 등이 있으나(Charai et al., 1996; Dorman and Deans, 2000). 그중 Fig.2.2.의 구조식에서 보듯이 가장 많이 적용되어진 식물 추출 오일로는 phenolic 화합물인 Thymol과 Carvacrol이 있다. 이들은 식물의 2차 대사산물로써 대부분 테르펜)이소프렌을 구성단위로 하는 중합체로 이루어지는 탄화수소 및 유도체의 총칭)과 산화유도체(oxygenated derivatives)를 가지고 있어서 향수나, 소독제, 방부제, 살균제 또는 방향제 등으로 사용되고 있으며, 껌(gum)의 원료로도 사용된다.

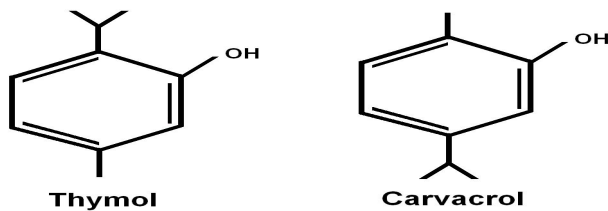


Fig. 2.2. Chemical structure of extracted oils from two plants.

(thymol: 5-methyl-2-isopropyl phenol, carvacrol: 5-isopropyl-2-methyl phenol)

실제로 Carvacrol은 무알코올 음료(28 ppm/0.18mM), 천연 껌 등에 첨가되어 진다. (Ultee et al., 1999) Thymol의 경우도 비누, 치약, 샴푸, 방향제, 가글액 등의 첨가제로 사용된다. Table 2.6과 같이 (Shapiro et al., 1994) Varej (2002)의 연구에 의하면 축산폐기물(cattle waste)을 혐기조의 flasks에 담아 carvacrol과 thymol을 각각 1,000 mg/L, 그리고 pinene을 500 mg/L을 투여하였을 때 23시간동안 새로운 VFA의 생성이 억제 되었으며, 이때의 혐기성 박테리아수가 2시간 이내에 큰 폭으로 감소되었음을 관찰하였다.

Table 2.7. Reduction of anaerobic bacteria in anaerobic condition cattle waste slurry with Carvacrol(C), thymol(T) and pinene(P)

Time, d	Anaerobic bacteria(108 cells/mL) ^b			SE
	Control	C,T(750 mg/L each)P(500 mg/L)	C,T(1000 mg/L each)P(500 mg/L)	
0	844	844	844	56
2	79.4 ^c	4.0 ^d	0.15 ⁿ	0.8
7	78.3 ^c	1.4 ^d	0.06 ⁿ	0.5
14	33.6 ^c	7.6 ^d	0.16 ⁿ	0.9

n Adapted from VareI and Miller(2001), with permission.

b Means represent the average from three replicate flasks.

c,d,n Means in a row with different superscripts differ (P<0.05).

과거의 연구에서는 thymol과 carvacrol을 조합하여 투여하였을 때에 단독으로 고농도를 작용하였을 때보다 더 큰 살균효과를 얻었다고 보고하고 있으나(Paster et al., 1995; Manou et al., 1998) VareI(2002)에 의한 최근의 연구를 통하여 thymol과 carvacrol을 단독으로 적용하였을 때에도 전체 농도만 같게 해준다면 두 화합물의 조합에 의한 살균효과와 비슷하다고 판단하였다.

가격 면에서는 Carvacrol 및 thymol에 비하여 3 ~ 4배 비싸다. Carvacrol 및 thymol을 축산분뇨에 투여하였을 때의 장점은 폐기물의 미생물 발효를 방해하여 악취발생률을 저감시키고, 온실가스 발생량을 감소시키며, 축산분뇨의 영양분(질소)을 보존하여 비료로써의 가치를 높일 수 있다.

또한 삼화유도체에 의한 살균효과로 병원성미생물의 감소효과를 얻을 수 있다. 가장 큰 장점은 thymol과 carvacrol은 무해하며, 혐기조건에서는 안정하여 분해가 더디지만, 호기조건에서는 분해되어 제거될 수 있다. 그러나 축산 폐기물의 분해를 과도하게 방해할 수 있으며, 실제 농가에서 지속적으로 사용하기에는 가격 면에서 부담이 될 수 있다.

VareI(2002)의 연구에서도 16.75mM(2.5g/l)의 carvacrol과 thymol을 돈 분뇨에 투여하였을 때, offensive odor compounds, iso-butyrate, valerate, iso-valerate 그리고 cresol의 감소를 나타내었다. Short-chain VFAs(C2 ~ C9)의 경우 50 %의 저감 효율을 나타내었으며, 돈 분뇨안의 병원성 미생물의 제거에도 효과적이었다. 그러나 본 연구는 실험실 수준에서 행해졌으므로 결론에서 실제 축산 시설에 적용되

었을 때의 부작용 및 carvacrol과 thymol이 투여된 분뇨가 거름으로 농경지에 환원 되었을 때의 환경에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되어야 한다고 결론짓고 있다.

다. 소독제(disinfectants)

악취저감을 위해 적용되었던 물질에는 Ortho di-chloro benzene, Chlorine 그리고 Hydrogen cyanamide(H_2NCN) 등이 있다.

(1) Ortho di-chloro benzene

Irich and Ford(1975)의 연구에서 소도축장(cattle feedlot)으로부터 발생하는 악취를 제어하기 위해 “ortho di-chloro benzene”의 성분으로 된 소독 첨가제(첨가제 이름은 “Ozene”)를 사용하였다.

Warburton et al.(1980)의 연구에서도 비슷하게 ortho di-chloro benzene 성분의 첨가제 “Tec. II”를 선보였는데, 양돈분뇨의 역겨운 냄새(odor offensiveness)를 감소시키는데 효과적이었다. 그러나 양돈분뇨로부터의 악취강도(odor strength)에는 효과가 없는 것으로 보고하였다. 그러나 Cole et al.(1976)는 ortho di-chloro benzene 성분의 첨가제를 우분과 양돈분뇨(cattle and pig slurry)에 장기간으로 투여하여 실험한 결과, 악취 및 sulfides 농도 저감에 큰 영향을 못 미치는 것으로 결론지었다.

(2) Chlorine

Chlorine이 양돈분뇨로부터 발생하는 악취 저감에 효과적이다. 라고 보고한 연구들이 있으나(Hammond et al., 1968; Warburton et al., 1980), 적용하기에 가격이 비싸다는 단점이 있다.

(3) Hydrogen cyanamide(H_2NCN)

Hydrogen cyanamide(H_2NCN)을 50 % 희석한 제품 “Alzogur”을 이용하여 악취 저감할 수 있다고 보고하고 있으며, Patni(1992)의 추가적인 연구가 이를 뒷받침하였다. Patni(1992)는 Hydrogen cyanamide(H_2NCN)을 50 % 희석한 제품 “Alzogur”을 이용하여 양돈분뇨 1900mg/ m^3 에 투여하였을 때 양돈분뇨로부터 Hydrogen sulfide의 발생을 완전히 제거할 수 있었다고 보고하였다.

그러나 악취 저감을 위한 소독제의 적용이 효과적임에도 불구하고 쉽게 적용하지 못한 이유는 소독제의 악취 저감 효과가 오랫동안 지속되지 못하며, 가격 면에서 경쟁력이 떨어지고 무엇보다도 소독제 자체가 환경에 독성을 유발할 수 있기 때문이다.

라. 은폐제(masking agents)

악취저감을 위한 은폐제는 아주 오래전부터 사용되어 오는 방법의 일환으로 일종의 좋은 냄새를 덮는 기본 개념을 가지고 어떤 악취에 대하여 다른 새롭고 강한 냄새를 가져와 양자 간에 상쇄효과를 일으키거나 후각을 교란시켜 원래의 악취를 잠시 동안 느끼지 못하게 하는 것을 의미한다. 비교적 적용성이 쉽다는 장점이 있지만 절대적인 탈취법이 아닌 은폐효과를 이용한 것이므로 탈취효과도 그다지 높다고는 할 수 없다. 이 경우 시간이 경과하면서 처음의 냄새는 지속적으로 남아있고 masking agent는 모두 휘발되거나 생분해되어 탈취성능이 급격히 떨어지거나 또는 냄새 원인물질과 masking agent 사이에 synectics effect로 냄새가 더 심해지는 문제가 발생할 수 있다.

고농도의 냄새 탈취에는 부적합하며, 약제가 비교적 비싸고 사람의 개인적인 차이에 의해 사용하는 약제의 냄새를 싫어할 수도 있는 등의 문제가 있을 수 있다. 일반적으로 물에 희석하여, 분무형태로 공기 중에 분사하거나 직접분뇨, 분뇨 처리 수 등에 뿌려 주는 방법이 있는데, 대부분의 masking agent는 분뇨 고유의 미생물에 의해 쉽게 분해되기 때문에 악취를 은폐할 수 있는 기간이 짧다. 이 은폐효과에 의해 제거될 수 있는 것에는 에틸머캅탄에 대해서는 유칼리유, 사향, 아몬드 등이 있고, 스카토올에 대해서는 쿠마린이 효과적이라고 보고되고 있다.

Burnett와 Dondero(1970)은 은폐제에 대해 계(鷄) 분뇨에 적용하여 악취 제어 효과를 얻었으며, 계(鷄) 분뇨가 농경지에 살포되기 전에 25 ~ 30 mL/m³로 은폐제를 적용하였을 때 악취저감효과를 나타내었다. Ritter(1975)는 Almask 518B와 151A라는 은폐제를 이용하여 젖소슬러리(dairy slurr)의 악취를 저감하였다. Smith(1980)는 Almask M-X라는 은폐제를 돈 슬러리에 분사하였을 때 악취저감 정도는 감소되었으나 그 기간이 오랫동안 지속하지 못하였다.

이와 비슷한 개념의 감각적 악취 저감방법으로 중화법이 있는데, 2가지의 취기가 함께 복합적으로 존재하게 하여 상호작용에 의해 어느 쪽의 취기보다도 약하게 감지하게 하는 것이다. 즉 전체의 냄새강도가 저하하며, 냄새의 강도 보다 자연스

러운 것으로 감지되도록 변한다. 이러한 관계를 이용한 것을 중화법이라 부르며, 라벤더유, 페퍼민트유 등이 효과적이며, Methyl mercaptan 냄새에는 페퍼민트유, 스위트오렌지유, 패티그레인유 등이 효과적이라고 알려져 있다.

마. 요소분해효소 억제제(urease inhibitors)

요소의 가수분해 효소를 방해하여 요소가 가수분해 되어 암모늄(NH_4^+)으로 전환되는 것을 억제하는 첨가제를 의미한다. 요소분해억제제로 Ogink와 Kroodsm (1996)은 물대신 포르말린을 희석한 물로 우사를 청소하여 줌으로 Ammonia 배출이 저감되는 것을 관찰하였다.

Varel(1997)은 Fig. 2.3과 같은 구조를 가진 phenyl phosphorodiamidate(PPDA)와 cyclo-hexyl-phosphoric tri-amide(CHPT), 그리고 N-butyl thio-phosphoric tri-amide (NBPT)를 우분뇨(cattle wastes)에 대하여 각각 10mg/L의 요소분해효소 억제제를 투여하였을 때 요소의 가수분해가 4 ~ 11일 동안 일어나지 않았고, 이후에 28일 동안 점차적으로 진행되었다.

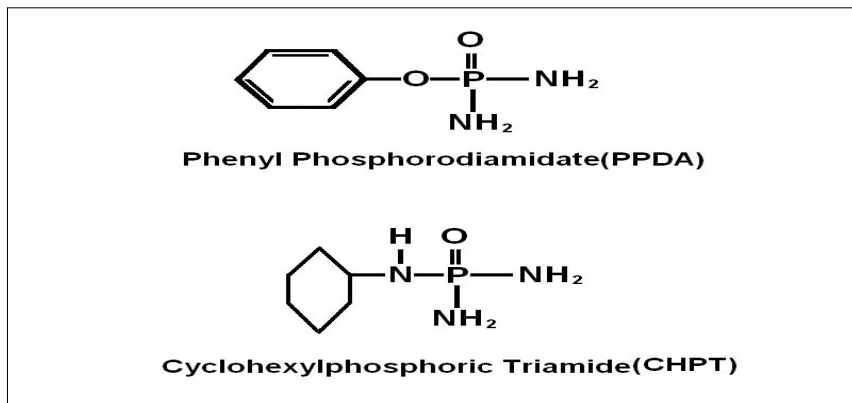


Fig. 2.3. Compound structure of CHPT and PPDA.

또한 1L의 우분뇨(5.6g urea/L)에 10, 40, 100mg의 PPDA(Phenyl Phosphoro diamidate) 를 주마다 투여하였을 때에 28일 이후에 요소의 가수분해를 72, 92 그리고 92 % 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. PPDA의 주입을 49일 후에 정지하였을 때 효소의 가수분해는 70일 이후에 진행되었다. 이러한 연구를 통하여 축산분

료를 비료로 사용할 때에 식물의 생장에 인과 질소의 적절한 비율을 인위적으로 만들어 줄 수 있다. 그러나 요소분해효소 억제제는 현재 너무 비싸고 환경에 미치는 영향에 대한 충분한 검토가 없어 실제 농가에서 적용하기에 어려움이 있다.

바. 산성화 첨가제(Acidifying Additives)

Ammonia는 축산시설에서 배출되는 악취의 주요 화합물중의 하나로서 오래전부터 연구되어 왔다. 그러나 실제로 Ammonia의 odor threshold(악취 취기 농도)는 1.50 ppm 정도로 다른 물질에 비해 높은 편이다. 축산분뇨는 비료로서 유용한 영양원이 나, 시간에 따라 Ammonia의 증발로 인한 질소원의 감소로 인하여 비료의 가치가 저하된다(Hartung et al. 1994).

Ammonia의 수증 및 대기로의 배출은 호소의 부영양화 및 주변 주민들에게 건강 및 심미적으로 영향을 줄 수 있으며, 축산의 성장에도 영향을 미친다. 는 보고가 있다(Pain et al., 1998; Donham, 1990). 유럽의 경우 축산수두의 증가로 인하여 지난 30년 동안 Ammonia의 배출량이 50 % 증가되었다고 보고되고 있으며(Sutton et al., 1995), 이러한 이유로 많은 유럽 국가에서는 축산분뇨의 농경지 살포를 법적으로 규제하고 있다(Burton, 1996).

축산배설물을 농경지에 살포하였을 때에 배설물에 포함되어 있는 urea가 분해되어 Ammonia로 배출되어 악취를 유발한다. 요소(urea)는 축산배설물에서 주요 질소성 화합물로서 요소분해효소에 의해 가수분해 되어 암모니움(NH_4^+)으로 빠르게 전환된다(Beline et al., 1998). 이때 pH에 따라 NH_4^+ 는 Ammonia로 전환되어질 수 있는데, 전형적으로 Ammonia의 pH 6, 7, 8 그리고 9에서 대략 0.1, 1, 10 그리고 50 %정도라고 알려져 있다(Court et al., 1964). 그리하여 암모니움(NH_4^+) 상태가 되어 증발되는 것을 막기 위하여 산성화첨가제 등을 이용하여 pH를 낮추는데, Molly와 Tunney (1983)의 연구에 의하면 돈 슬러리에 산성화첨가제를 투여하여 pH 5.0으로 하였을 때에 Ammonia의 증발이 멈추었다고 보고하고 있다(우분뇨의 경우에는 pH 4.0에서 Ammonia의 증발이 멈춤).

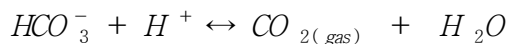
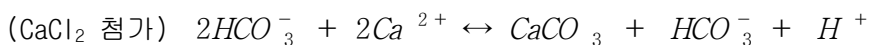
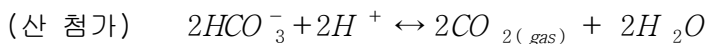
산성화 첨가제의 종류는 크게 3가지로 분류할 수 있는데, 산(Acids), 염기 침전염(Base Precipitation Salts) 그리고 산 생성을 감소시키는 물질로 구분하여 분류한다.

(1) 산(Acids)

Ammonia 증발을 저감시키는 산의 사용에 관한 연구는 오래전부터 진행되어 오고 있다. Sulfuric, hydrochloric, nitric, phosphoric 그리고 lactic acid가 적용되어 왔다(McCroy and P.J. Hobbs, 2001). 그러나 산 생성 첨가제는 실제 사용하는 데 여러 제약이 따르는데, phosphoric acid의 경우는 가격이 비싸고, Sulfuric, hydrochloric 및 nitric acid의 경우는 phosphoric acid의 보다 가격 면에서는 저렴하나 유해하며, 부식성이 강하고 다루기가 힘들다는 단점이 있다.

(2) 염기 침전 염(Base Precipitation Salts)

염기 침전 염을 이용하여 축산분뇨 및 슬러리로부터 Ammonia의 배출을 감소시키는 연구가 많은 연구자들에 의해 진행되어 왔다(Witter, 1991; Vandre and Clements, 1996). 축산 슬러리의 pH를 조절하기 위해 사용되는데, 주로 염화물 (Chloride), 질산염(nitrate), 마그네슘 및 칼슘이 종종 이용된다. 황산염 같은 경우 수중에 충분히 용해되지 않고, pH를 조절하는데 효과가 낮은 것으로 보고되고 있다(Witter, 1991). 그러나 결론적으로 산 보다 pH를 낮추거나 낮은 pH를 유지시키기에는 효과적이지 못하다. 그 이유를 아래의 식으로부터 유추할 수 있는데, acids의 경우에는 중탄산염을 모두 CO₂(gas)로 전환시키는데 비하여 염기침전 염인 CaCl₂의 경우에는 2몰의 중탄산염을 1몰의 CO₂(gas)로 밖에 전환시키지 못한다(Hustes et al., 1991).



염침전염은 저렴하고 유해하지 않은 장점이 있지만, pH의 저감을 위해서 다량을 투입해야 하는 단점이 있다.

(3) 산 생성을 감소시키는 물질(Labile Carbon - 화학적 변화를 일으키기 쉬운 탄소)

탄소원을 축산 분뇨 등에 투입하여 pH를 감소시키는데, 이러한 물질을 사용하여 Ammonia의 증발을 저감시킬 수 있다. 이러한 물질은 혐기성 상태에서 쉽게 유기산

으로 전환할 수 있는데 이 유기산이 pH를 낮추는 역할을 한다.

Subair(1995)는 여러 자당 물질의 농도를 달리하여 돈 슬러리의 pH를 간접적으로 감소시키는 연구를 수행하였는데, 돈 슬러리에 자당 물질이 11 % 첨가되었을 때 돈 슬러리는 pH 3.5로 감소하였고, 그 때 Ammonia의 증발이 98 % 감소하였다고 보고하였다. Hendriks(1997)은 제분된 밀(milled wheat)과 감자에서 추출한 녹말(starch, *Triticum aestivum* L.)의 값싼 탄소원을 사용하여 돈 슬러리에 투여하였을 때 최대 42 %까지의 Ammonia 증발량 감소를 보였다.

Eekert과 Wijbenga(1992)는 그루코스와 함께 젖산 생성 박테리아(*Lactobacillus plantarum*)를 돈 슬러리에 주입하여 pH를 감소시키는 연구를 수행하였고, Hendriks도 *Lactobacillus plantarum* 박테리아를 이용하여 양돈분뇨의 pH를 8에서 6으로 감소시켜 50 % Ammonia 배출 감소를 관찰하였다. 그러나 얼마만큼의 탄소원을 투여하였을 때 최적의 pH 감소율을 갖는지 또는 Lactic acid 박테리아가 산을 생성하기 위한 최적의 조건 등에 대한 후속연구가 미비하다. Lactic acid 박테리아를 이용하여 유기산 생성의 최적화가 가능하다면 값싸고 무해하며, 효율적으로 Ammonia의 배출을 저감할 수 있을 것이다.

2.6.2 약취저감 첨가제의 사용 방법

가. 산 및 알칼리 세정법

Acid는 H_2SO_4 또는 HCl을 pH 2 ~ 3이 되는 용액으로 사용하며 Ammonia, 저급아민류 제거에 사용된다. 알칼리는 NaOH를 중심으로 pH 12 ~ 13의 용액으로 사용되는 Hydrogen sulfide, 저급 지방산류의 제거를 목적으로 한다. 단 본 방식은 탈취효과가 그다지 높지 못하다는 단점이 있다. 10여 년 전까지는 많이 사용되었던 방식이지만 최근에는 본 방법이 산화제 세정법을 가미하는 방식도 일반적으로 시용되고 있다.

나. 알칼리 및 차아염소산나트륨 세정법

본 방식은 산화제 가운데에서 비교적 저가인 NaOCl보다 세정을 이용하는 것으로서 부패 냄새의 탈취에 적합하다. 알칼리 세정에서 Hydrogen sulfide, 저급 지방산류를 제거한 후 산화제로서 메틸멜카부탄, 황화메틸 등까지도 상당부분 제거한다. 그리고 산화제에는 이산화염소, $KMnO_4$, H_2O_2 등이 사용된다.

다. 차아염소산나트륨 및 아황산나트륨 세정법

본 방식은 슬러지 및 분뇨의 산화처리 방식, 슬러지 소각로 배가스 등 알데히드류가 부패 냄새에 섞여서 존재하는 경우의 탈취방식을 사용한다. 최근에는 슬러지 소각로의 취기에 기인하는 어려운 많은 문제 등도 처리할 수 있으며, 본 방식의 사용은 계속적으로 증가하는 추세이다.

라. Air clean 및 화학적 첨가제

Air clean의 사용 실시 예를 보면 공기 중에 살포하거나 직접 정화수에 혼합해서 사용할 수 있는데, 용도에 따라 다음과 같이 분류한다.

AC-100 : 담배연기, 오염된 지역에서 살포하거나 오염된 가구, 양탄자, 커튼 위에 살포, 승용차, 버스, 전차, 매점, 연회장, 대합실 내의 담배냄새제거에 효과가 높다

AC-200 : 축산농장, 정수처리장치, 슬러지, 침전 탱크, 쓰레기 집하장, 정화조 및 폐액 트럭

AC-300 : 분뇨, 폐유 절삭유, 폐수 및 폐그리스 탱크, 정수처리장치, 슬러지, 침전 탱크, 정화조 및 폐액트럭, 살충제 냄새, 수지

AC-400 : 과일 부패냄새, 포름알데하이드, 유기용제류, 수지류

AC-500 : 생활악취, 폐기물, 화장실 악취제거(AC-500은 AC-300에 향수를 첨가한 것)

2.7 미생물의 악취제어

미생물제제는 장내 미생물의 성장 및 장내 균총에 직접적으로 관여해 소화에 유용한 미생물을 증가시킨다. 이를 통해 사료의 소화율을 높임으로써 분뇨 중 냄새의 원인물질인 유기물과 질소 함량을 낮추는 한편 축분 내 분해 미생물의 균총을 늘림으로써 악취를 줄이는 것이다.

미생물을 이용한 악취제어의 원리는 접목 방법에 따라 달라질 수 있다. 또한 제제의 특성에 따라 축사 내·외부 세균총을 특이적으로 변화시켜 물질상의 변화를 유도함으로써 악취를 감소시키기도 하며 때로는 미생물이 직접 악취물질을 없애는 기능을 하는 경우도 있다.

어떤 제제는 악취물질의 전구체를 미생물의 먹이로 이용함으로써 추후 대사과정에 발생하는 악취물질의 양을 줄어든게 한다.

또한 옛날부터 악취의 확산방지에 토양의 효과를 적극적으로 활용했던 것처럼 자연계에 존재하는 미생물의 힘을 빌려 탈취현상을 인위적으로 조정 관리할 수 있다.

이 때 이용되는 미생물은 악취물질을 산화 분해함으로써 에너지를 얻어 증식한다. 그리고 악취물질을 구성하는 C, H, N, S 등의 물질 중 일부는 미생물 자체의 균체를 구성하는 성분이 되지만 대부분은 미생물에 의해 산화돼 CO₂, H₂O, NO₃, SO₄ 등으로 바뀐다.

2.7.1 악취물질 분해 메커니즘

가령 시스테인이나 메티오닌 등의 분해로 인해 생성된 황 화합물은 휴도모나스 균에 의해 산화돼 강한 냄새를 풍기는 Hydrogen sulfide로 분해되고 대사산물로 에너지와 산이 형성된다. Hydrogen sulfide의 제거에는 이 물질에 대한 기질 선호성이 매우 뛰어난 것으로 보고된 티오바실러스 균 등을 활용할 수 있다.

Ammonia의 경우는 물질상의 변화나 미생물의 직접적인 작용으로 제거할 수 있다. 특히 나이트로소모나스 균의 산화작용에 의해 Ammonia가 NO₂와 에너지, 산으로 되는 기전을 통해 냄새를 제거한다.

탄화수소류와 난분해성 악취물질과 같은 복합유기산의 제거에는 바실러스균 등

을 이용하는 것이 효과적이다. 이처럼 유효 미생물은 혐기·호기적인 조건을 불문하고 악취물질을 섭취해 분해하는 기전을 가진다. 가령 가축의 장기 내에서 이러한 작용이 이뤄진 후 미생물이 사멸됐을 경우 이 미생물은 분뇨 자체의 양과 냄새를 줄이는 한편 가축의 단백질원으로도 이용되기 때문에 일석이조의 역할을 한다.

다시 말하면 효소나 생균 등 미생물과 관련된 제제는 장내 미생물의 성장 및 장내 균총에 직접적으로 관여해 소화에 유용한 미생물을 증가시킨다.

이를 통해 사료의 소화를 도와 분뇨 중 냄새의 원인물질인 유기물과 질소 함량을 낮추는 한편 축분 내 분해 미생물의 균총을 늘림으로써 악취를 줄이는 것이다.

2.7.2 우점화 제제

활성탄과 광물질은 가축의 소화관을 지나면서 소화에 장애를 주는 물질이나 악취발생 원인이 되는 성분을 흡착하고 유용한 미생물을 조정해 소화효율을 높인다. 특히 Ammonia gas를 물질 표면의 다공성을 이용해 직접 흡착함으로써 악취를 억제하는 기전을 가지고 있다.

다시 말하면, 환경개선제는 축사 내·외부의 악취제거, 사료효율 개선, 장내 유익균 총 활성화 및 병원성세균 억제, 육질개선, 축분 내 Ammonia제거, 메틸아민 및 휘발성 지방산 등 악취물질 감소 등을 목적으로 사용할 수 있다는 것이다.

국내외에 유통되고 있는 환경개선제는 단순히 미생물만으로 구성된 것도 있고 비타민, 미네랄, 올리고당(유산균의 영양원) 등을 혼합한 제품도 있다. 유효 미생물 수는 제품의 품질에 큰 영향을 미친다.

어떤 미생물제제는 악취원인물질을 효과적으로 제거하려면 제제 1g당 균수가 최소한 10^{5-7} 이상은 함유돼야 한다. 환경개선제의 효능 및 효과는 농가의 여건에 따라서 그 변이가 크게 나타나는 것이 현실이다.

좋은 미생물제제란 이런 지역적, 환경적 여건에 크게 구애 없이 축사를 둘러싼 환경에서 나쁜 미생물을 누르고 빨리 우점화를 이룰 수 있는 것을 말한다.

2.7.3 미생물의 분해기작

가. 분뇨 정화처리

분뇨의 생물학적 처리방법은 미생물(주로 박테리아)이 분뇨의 유기물을 에너지 원이나 세포증식을 위한 영양원으로 이용하여 분뇨 중의 유기물질을 분해하는 방법이다. 생물학적 처리는 호기성 및 혐기성으로 구분되나, 본 연구의 분뇨처리시설은 폭기 시설이 갖추어진 호기성 처리방법으로 구분할 수 있다. 호기성 미생물은 수중에 용존산소가 없으면 성장이 저해되며, 일부 호기성 미생물은 전혀 성장하지 못하는 경우도 있는데, 호기성상태의 미생물에 의한 돈 분뇨 제거기작은 Table 2.8과 같다.

Table 2.8. Aerobic degradation mechanism of microorganism

호기성상태의 유기물 분해
유기물 + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O + 에너지(호흡반응)
유기물 + O ₂ → NH ₃ + 미생물(MLSS) + CO ₂ + H ₂ O + 에너지(합성반응)
세포물질 + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O + 에너지(자기산화반응)

나. 분뇨에서 미생물의 역할

분뇨를 분해하는 과정에서 박테리아를 위주로 한 다양한 종류의 미생물이 BOD물질의 제거나 콜로이드성 고형분의 응집을 포함한 유기물의 안정화에 관여한다.

분뇨 중 콜로이드성 물질이나 BOD 유발물질은 박테리아 등의 호흡반응이나 합성 또는 자기산화와 같은 미생물활동에 의해 미생물 세포조직 형성 원으로 이용되거나, CO₂, H₂O, Ammonia 등으로 변환된다. 이 과정을 통하여 분뇨 중의 유기물이 분해되며 증식된 미생물들을 응집·침전시킨 다음 슬러지 형태로 제거되면 분뇨의 오염성 유기물이 제거되는 효과가 얻어진다.

다. 미생물 성장조건

미생물이 계속 번식하려면 미생물성장을 위한 에너지원과 새로운 세포조직의 합성을 위한 탄소원, 질소, 인 등의 주요영양소와 황, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등과 같은 무기성 미량영양소가 필요하다. 탄소원과 에너지원이 미생물의 세포 탄소원으로 이용되는 것은 유기물과 탄산가스이다.

라. 미생물의 증식

생물학적 처리방법에서 유기성 오염물질의 제거 역할을 수행하는 미생물인 박테리아는 Fig. 2.4와 같이 일반적으로 하나의 세포에서 두개의 세포로 분열하는 이분법에 의하거나 유성생식 또는 발아에 의하여 번식한다.

이분법에서 한 세대 시간, 즉 세포수가 2배로 증가하는데 소요되는 시간은 박테리아는 성장조건이 좋을 경우 15 ~ 20분 정도 걸린다, 예를 들어 한 세대시간이 30분과 20분인 박테리아가 있다고 할 경우, 한 마리의 박테리아가 이론적으로는 기하급수적으로 늘어나 12시간 후에는 각각 1,678만 여 마리 그리고 687억 여 마리로 늘어나게 되지만 실질적으로는 먹이나 기타 성장조건의 제약으로 번식량에는 한계가 있다.

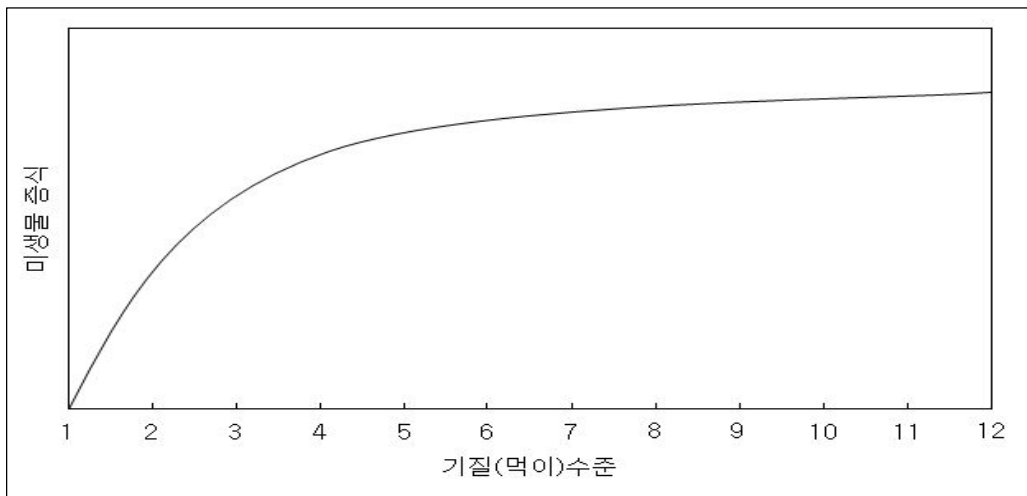


Fig. 2.4. A growth curve of microorganism by feeding level.

미생물이 잘 성장하기 위해서 먹이인 에너지원이나 탄소원이 필요량만큼 있어야 하고, 전자수용체가 충분해야하며, 기타 물리·화학적 성장조건이 잘 맞아야한다. 기질의 농도가 증가함에 따라 미생물(주로 박테리아)의 증식이 활발하게 일어나다가 어느 정도 지나면 증식률이 현저하게 낮아지는 것을 알 수 있다.

박테리아는 기질의 농도, 영양소의 농도, 폭기조 내부 환경 등의 환경적 제약조건으로 인하여 무한히 증식할 수는 없다. 생물학적 폐수처리가 일어나는 폭기조 내에서도 이러한 경향이 동일하게 적용된다.

폭기조 내에서 시간의 경과에 따른 박테리아의 성장단계를 보통 4가지 단계로 구분할 수 있다. 미생물의 성장 과정은 Fig. 2.5와 같이 시간의 경과에 따른 미생물 질량의 변화를 설명하고 있으며, 미생물량의 변화를 기준으로 하여 다음과 같이 구분한다.

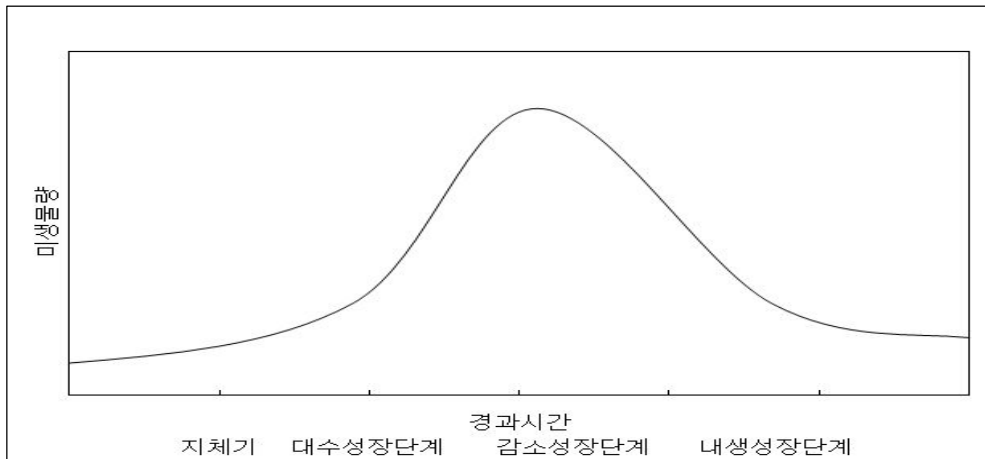


Fig. 2.5. Reproduction curve of microorganism.

(1) 지체기(lag phase)

지체기는 접종된 미생물이 새로운 주변 환경에 적응하여 분열하기까지 걸리는 시간을 말한다. 즉 새로 접종된 세균 세포는 증식에 필요한 효소를 합성하기 위한 시간을 필요로 하게 된다. 지체기의 박테리아 질량은 세포분열이 일어나기 전에도 약간씩은 증가하므로 박테리아 수와 일치하지 않는다.

(2) 대수 성장기(logarithmic growth phase)

대수성장기는 미생물 성장률이 절정에 달하는 시기로서 이 기간 동안 세포의 분열율은 그 세대시간 및 먹이 섭취능력에 따라 결정된다. 이 기간 동안에는 세대시간도 짧으나 이때의 세포는 지체기보다 민감한 상태여서 pH나 온도, 삼투압, 진동 등 외부조건에 영향을 받는다.

(3) 감소성장기(declining growth phase)

이 기간 동안에는 먹이공급이 제한되므로 박테리아 질량 증가율이 감소하고 세포 수는 대개 일정하게 유지된다. 이 기간은 세포성장에 필요한 기질 및 영양소가 모두 소비된 상태이고 새로이 성장하는 미생물량이 사멸되는 미생물량보다도 더 적을 수 있다. 영양이 부족한 상태에서의 미생물의 신진대사 결과로 생긴 독성 물질의 축적 때문에 세포의 증식속도는 더 이상 증가하지 않고 오히려 감소하기 시작한다.

(4) 내생성장기(endogenous growth phase)

이 기간에는 기존 박테리아의 사멸율이 새로이 성장하는 미생물량보다 많다, 이용 가능한 기질의 농도가 최소가 된 상태이므로 미생물은 신진대사를 유지하기 위하여 자기 자신의 원형질을 이용하게 된다. 미생물들이 부족한 영양분을 두고 서로 경쟁을 하게 됨으로써 신진대사 속도는 감소하고 살아 있는 미생물 수도 크게 줄어든다. 내생호흡 단계가 오래 지속되고 자기 자신의 세포 이외에 새로운 에너지 공급원이 없을 때에는 세포의 자기분해(자산화)가 일어나게 된다.

2.7.4 돈사의 환경개선제 사용실태

근래에는 모든 양돈축사가 축산환경개선제를 사용하고 있다고 여길 정도인데, 지자체의 지원에 편승한 다수의 생산업체가 다양한 환경개선제를 제조함으로써 양돈축사는 그 종류와 효과를 검증하기에 너무도 어렵고, 자칫하면 생산비 증가 요인으로 작용할 수 있는 실정에 처해 있다.

이처럼 환경개선제 종류가 시중에 너무 많이 유통되어 선택에 어려움이 따르는 양돈축사 못지 않게 각 지방자치단체에서도 마찬가지이다. 따라서 축산농가에게 지원해주는 품목선정을 농가회의를 통해 결정한 후, 그에 한하여 지원을 하고 있으며, 지원규모는 각 지자체 마다 다양하다.

현재 국내에 유통되고 있는 환경개선제는 토양의 물리적 성질을 개선시키고 퇴비화를 촉진시키며, 악취를 줄이는 목적으로 무기물 제제, 미생물제제(광합성세균 제제, 일반미생물제제 등), 효소제, 활성탄, 목초 액, 키토산, 해초 및 과일추출물 등 여러 가지 품목이 유통되고 있으며, 대부분의 사용자는 환경개선제에 대한 지식이 부족하다.

따라서 경제적이고 효과적으로 사용하기 위해서는 주의할 점이 많다. 각 회사마다 사용되는 균주가 다르고, 설사 동일 균주라도 배양방법이 다르다. 또한 미생물 제조 공정 및 미생물제제에 포함돼 있는 미생물의 배합정도가 상이하다. 항생제와 혼용으로 사용 시 생균제의 급이 방법은 달리해야한다는 것도 주의하여야 한다.

국내에서 유통되는 생균제는 현재 수의과학검역원에서 허가를 취득한 동물용 의약품과 각 시·도에 등록된 보조사료 및 미등록 제품 등이 있다. 보조 사료는 각 지자체에 등록하며 등록신청 시 업체가 지정한 사설연구기관에서 측정된 균수만 등록하게 된다.

보조 사료의 경우 6개 그룹 154개 업체에 이를 정도로 많은 생산업체가 있으며 종류는 매우 많은 품목이 유통되는 것으로 추정되며, Table 2.9에 현황을 나타내었다. 유효 미생물제를 잘 이용해서 효과를 본 축산농가도 있지만, 반대로 이해부족과 제품에 대한 과신으로 피해를 본 농가도 있다. 즉, 사료 관리법의 개정으로 약사감시를 받지 않고 보조 사료인 생균제로 등록된 후 이와 유사한 여러 가지 종류의 검증되지 않은 제품들이 사료취급점이나 가축약품 판매점을 통해 농가에 소

개되면서, 유효 미생물제에 대한 혼란과 오해가 발생되어 이들 제제에 대한 신뢰도에도 의문이 제기되고 있다. 더욱 문제인 것은 전혀 검증되지 않은 수입품이나 보조 사료로도 등록되지 않은 불법 제품 또한 난무하고 있다.

Table 2.9. Registered manufacturer of subsidiary feeder

구 분	내 용	업체 수(개)
항응고제	활성탄, 실리카분말	16
효소제	효소	7
생균제	생균, 멀티 락토	71
규산염제	벤토나이트, 일라이트, 제올라이트	20
추출제	목초, 초목, 해초, 유카, 과일추출물, 키토산	23
올리고당	푸락토올리고당, 키토올리고당	17
계		154

2.7.5 미생물 제제

가. 주요 미생물

생물학적 처리의 주요 미생물은 박테리아, 균류, 프로토조아 와 로피터, 조류 등 다양한 미생물이 활용되나, 금번 연구에 활용된 환경개선제는 직접 개발하여 분뇨의 처리수를 순환방식으로 적용하고, 급이 및 살포로 약취를 저감한 업체에서 직접 공급받아 환경개선제에 함유된 미생물을 위주로 분석하였다.

환경개선제에 함유된 주요 미생물은 *Bacillus subtilis* 계열과 약 80여종의 미생물 균주를 조합해서 활용하고 있으나 전체의 미생물에 대한 평가는 범위가 크고, 본 연구의 목적과의 상관관계가 많은 *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus coagulans* 등 대표적인 7종의 미생물에 대해 제공받아 연구에 활용하였다

나. 특성

(1) *Lactobacillus acidophilus*

프로바이오틱(probiotic)의 일종인 *Lactobacillus acidophilus*는 과민성대장증후군에 의한 복통을 감소시키는데 효과적인 것으로 알려져 있다.

락토바실러스 균의 하나인 *Lactobacillus acidophilus*은 막대기 모양의 유산균으로 산에 강한 내산성이며, 정장 작용 및 항암 효과, 혈중 콜레스테롤 저하, 비타민B군 합성 등의 작용을 하는 것으로 알려져 있으며, 다음과 같은 생물학적 기능 및 효과가 있다.

소장 안에서 천연 항생제를 만들어 20종류 이상의 유해균 성장을 억제하며, *Lactobacillus acidophilus*가 감염에 대한 차단벽 기능을 한다.

젖산과 과산화수소를 생성하여 이스트나 기타 유해균 성장에 불리한 환경을 조성함으로써 이스트, 유해균 증식을 방해하고, 지방, 단백질, 유제품 소화를 돕는 효소를 생성함으로써 소화를 촉진시키고, 장관 내에서 광범위한 비타민 B군 및 K를 만들어 낸다.

*Lactobacillus acidophilus*를 경구 섭취 시 전신의 면역기능이 증강되며, 콜레스테롤을 대사시켜 콜레스테롤 수준을 저하시켜 심혈관 질환에 대한 위험이 감소되는 것으로 알려져 있다.

(2) *Bacillus subtilis*

청국장의 발효미생물로서 관계가 깊을 뿐만 아니라 여러 미생물 제제로서도 이용되고 있다.

곰팡이와 냄새분해, 유해한 세균을 사멸시키며, 단백질을 분해하여 아미노산 및 펩타이드를 생성한다. 이에 따라 사료제제, 비료, 농약 등으로 응용된다.

몸에 이로운 바실러스 균은 온혈 동물의 장내 부패균의 활동을 억제해 부패균이 만드는 발암 물질이나 Ammonia, indol과 같은 발암촉진물질을 감소시킨다. 또한 이러한 유해물질을 흡착해서 몸 밖으로 배설시키는 역할도 한다.

호기성 포자 형성 균으로 땅위의 마른 풀, 마른 벼 집에서 서식하며 항생 물질을 분비한다. 마른풀이나 마른 짚을 잘라 토양에 넣으면 토양 속에 병원균을 막는 역할을 하는 길항 균이 되어 병원균을 억제 또는 사멸시킬 수 있다.

(3) *Bacillus cereus*

토양 세균의 일종으로 사람의 생활환경을 비롯하여 먼지, 오수 및 하천 등의 자연계에 널리 분포되어 있으며, 각종 식품에서도 다수 분리되고 있다.

이 균은 호기 및 혐기적 조건에서도 증식하는 아포형성 간균으로 야채, 곡류 등의 농작물 및 식품원료 내에서는 주로 아포상태로 존재한다. 그러나 식품으로서 제조, 가공, 조리 후에 온도나 수분, 영양 등의 조건이 적절하게 이루어지면 왕성하게 증식하여 부패 및 변패를 일으킨다.

(4) *Bacillus coagulans*

통성혐기성, 그람 양성균의 포자 형성 간균으로 여러 가지 당을 발효하는 능력이 있다. 온혈동물의 장내 균총을 안정화하는 능력이 있으며, 불쾌한 냄새를 제거할 수 있는 탈취작용을 할 수 있는 미생물로 알려져 있다.

(5) *Enterococcus faecalis*

통성혐기성의 그람 양성구균으로 유당을 분해하여 황산을 생성하며, 포도당을 분해하여 유산을 생산한다. 유제품의 발효, 산업 발효용 등의 생균제로 사용되며, *Enterococcus faecalis* 자체를 사용할 수 있고, 기타 필요한 물질 또는 부형물질에 첨가하여 제조한 제제로도 사용할 수 있다.

(6) *Saccharomyces cerevisiae*

가장 잘 알려진 효모로 산업용으로 많이 사용되며, 맥주 효모, 빵효모, 알코올 효모, 탁주 효모 등으로 이용된다. 여러 종류의 당을 발효한다.

(7) 분원성 대장균군

대장균군 중에서 *Escherichia coli*(EC) 배지에서 배양할 때 45 °C정도에서 발육하고 유당을 분해하여 가스나 산을 생산하는 균을 분변계 대장균군(*fecal coliform*)이라고 하는데, 분변오염의 지표로서 대장균군보다 더 정확하다.

특히 대장균군 중에서 indole 생산(I), methyl red 반응(M), Voges-Proskauer 반응(Vi) 및 citrate 반응(C)의 네 가지 성상에 의한 IMViC 시험양상이 [++--]인 것을 E.coli(대장균군)이라 한다.

보통 분변계 대장균군이나 대장균군과 비교할 때 사람 및 동물의 분변에 존재할 확률이 높다. 또한 이들은 자연계에서 비교적 사멸하기 쉽기 때문에 식품 중의 존재가 직접 또는 간접적으로 새로운 분변오염을 나타내는 것으로 생각된다.

따라서 이들이 검출된 식품은 대장균군이 검출된 경우보다도 한층 불결하게 취급한 것으로 간주되므로 그만큼 장 관계 병원균의 오염 가능성이 높다고 할 수 있다. 일반적으로 대장균군이 검출된 식품에서는 분변계 대장균군의 경우 보다 더욱 오염 가능성이 높은 것으로 알려져 있다.

Ⅲ. 측정 · 분석 및 조사지점

3.1 측정 · 분석

3.1.1 측정항목의 범위

가. 악취물질

각 물질별 최소감지농도 및 배출허용기준을 Table 3.1에 나타내었으며, 양돈축사는 현행 악취방지법에서 악취관리지역으로 관리되어지지 않고 있어 배출허용기준에 대해 악취관리지역 이외의 기준을 나타냈다.

본 연구에서 측정 · 분석 대상의 악취물질은 악취방지법에서 규제하고 있는 악취물질 중 양돈축사에서 발생율이 다른 물질에 비해 악취기여도가 높은 지정악취물질 중 Ammonia 및 Hydrogen sulfide와 황 계열 화합물인 Methyl mercaptan, Dimethyl sulfide, Dimethyl disulfide와 2010년부터 지정악취물질로 포함된 유기산 종류인 Propionic acid, n-Butyric acid, n-Valeric acid, i-Valeric acid 등 총9종류와 복합악취에 대하여 측정 · 분석을 실시하였다.

Table 3.1. Effluent quality standard of designated odor compounds

Unit : ppm

구 분	항목	최소감지농도	배출허용기준(악취관리지역 외)
복합악취	복합악취(배)	-	배출구 : 500이하
		-	부지경계 : 15 이하
지정악취	Ammonia	1.5	1.0
	Hydrogen sulfide	0.00041	0.02
	Methyl mercaptan	0.00007	0.002
	Dimethyl sulfide	0.003	0.01
	Dimethyl disulfide	0.0022	0.009
	Propionic acid	0.0057	0.03
	n-Butyric acid	0.00019	0.001
	n-Valeric acid	0.000037	0.0009
i-Valeric acid	0.000078	0.001	

※ 최소감지 농도 : 사람이 후각으로 냄새를 감지할 수 있는 개별 악취물질의 최저농도

나. 돈사의 악취발생 영향인자

Table 3.2에 양돈축사에서 악취를 발생시키는 영향인자를 도출하기 위해 관련성이 있을 것으로 예상되는 사항을 측정지점별로 측정·분석 항목과 방법을 나타내었다. 환경 분야시험·검사 등에 관한 법률에 따른 환경오염공정시험기준에 의해 측정 및 분석을 실시한 악취물질에 대한 결과는 간헐적이고 단기간에 측정이 이루어져 연속적이지 못한 방법으로 돈사에서 발생하는 악취의 경향과 원인 파악이 곤란하여 Table 3.2와 같이 악취센서를 이용하여 Ammonia 및 Hydrogen sulfide를 연속 측정하였다.

Ammonia 및 Hydrogen sulfide는 돈사에서 주로 발생하는 악취물질로 돈사조건, 사육환경, 계절적 요인 등에 따라 달라질 수 있는 물질로써 기기 분석결과와 비교하고 일별, 계절별 악취발생 경향을 파악하였다.

또한, 돈사의 악취발생 영향인자에 대해 연구하기 위하여 연구 대상 시설로 선정된 3개의 돈사에서 배출된 분뇨의 수질분석과 온도 및 습도를 측정하여 악취발생에 대한 기여도와 관련성을 조사하였다. 연구 대상 시설로 선정된 B와 C의 돈사에 사용하는 환경개선제에의 분뇨분해 및 악취저감 효과를 파악하기 위하여 주요 미생물 개체수의 변화 과정을 관찰하여 악취저감 효과에 대해 관련성을 분석하였다.

Table 3.2. Measuring range of other parameter

구 분	측정지점	항 목	방식
분뇨의 수질분석	slurry pit, 분뇨처리시설	s-BOD, n-BOD, T-N 질산성질소, 대장균군, 일반세균	기기분석
온·습도 측정	돈사내부 및 외부, slurry pit	온도, 습도	자동측정
미생물평가	slurry pit, 분뇨처리시설	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus coagulance</i> 등 7종	기기분석
악취모니터링	돈사내부	Ammonia, Hydrogen sulfide	자동측정

3.1.2 측정 · 분석 방법

가. 악취물질

(1) 복합악취

본 연구에서는 Fig. 3.1과 같이 공기희석관능법에 의한 복합악취의 희석배수를 산정하기 위하여 펌프 내장형의 진공흡인상자(Odor design, Korea)와 polyester aluminum bag(5ℓ, 10ℓ, Top trading, Korea)을 이용하였다.



Fig. 3.1. Mixture odor measurement and analysis on the pig house.

복합악취 측정에 사용한 polyester aluminum bag은 시료채취 전에 고순도 질소(99.999%)로 3회 이상 세척하였고 냄새의 유무와 누출 여부를 확인한 후 사용하였다. 이처럼 냄새의 유무와 누출 여부가 확인된 polyester aluminum bag은 현장시료로 1회 이상 채우고 배기한 후 1ℓ/min으로 polyester aluminum bag의 용량만큼씩 5~10분간 시료를 채취하였다. 시료채취가 완료된 polyester aluminum bag은 상온(15~25℃)의 유지 및 직사광선을 피하여 보관 및 운반하였으며, 공기희석관능법의 복합악취 측정은 시료채취 후 24시간 이내에 이루어지도록 하였다. 복합악취는 공기희석관능법을 이용하였으며, 공기희석관능법은 인간의 후각을 이용하여 측정하기 때문에 현재까지 지속적으로 제기되고 있는 악취 민원의 정도를 파악하는데 직접적으로 활용할 수 있다. 또한, 공기희석관능법은 기기분석법과 같이 정량적인 결과치가 제시되므로 기기분석법이나 직접관능법의 단점을 보완할 수 있는 방법이다.

공기희석관능법을 이용하여 공기희석배수를 평가하는 판정요원은 판정시험 전 약취강도에 대한 정도를 인식 시켜주기 위하여 n-butanol로 제조된 냄새를 인식시켰다. 약취강도 인식시험액인 n-butanol은 순도가 순도 99.5 %를 사용하여 증류수로 Table 3.3과 같이 희석하여 제조한 후 약취강도 인식시험액 1도의 시험액을 예비판정요원 모두에게 냄새를 맡게 한 후 냄새의 인식여부를 확인하였으며, 예비판정요원이 냄새를 인식하지 못하면 판정요원 선정시험대상에서 제외하였다.

Table 3.3. Production of recognition test substance(n-butanol) for odor intensity test

약취강도	n-butanol 주입량	농도(ppm)
1	0.10	100
2	0.40	400
3	1.50	1,500
4	70.0	7,000
5	300.0	30,000

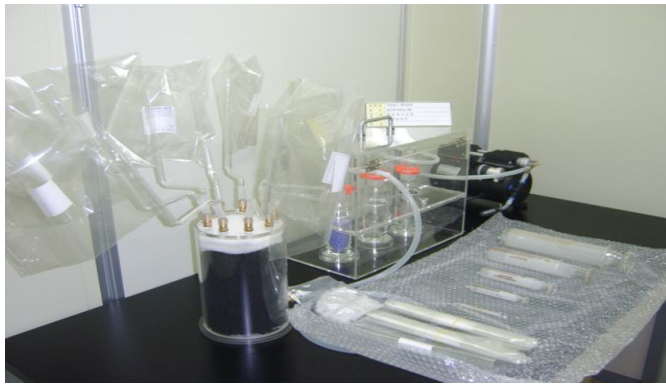
약취판정요원인 패널의 선정은 Table 3.4에 제시된 4종류의 판정요원 선정용 시험액(이하, 시험액)을 이용하였다. 선정방법으로는 냄새가 없는 길이 14cm, 폭 7mm의 거름종이 6매를 1조로 하여 그 중 4매는 시험액에 그리고 나머지 2매는 증류수와 유동파라핀에 각각 약 1cm 정도를 시험액에 5분 동안 담가두었다가 꺼내어 약 2 ~ 3분경과 후 시험에 사용하였다. 판정요원의 선정은 위의 6매 1조의 거름종이를 건강한 피검자에게 나누어 주어 냄새가 나는 거름종이 4매를 선택하게 하여 4종류의 시험액에 대한 냄새의 종류와 냄새나는 거름종이를 모두 알아 맞추고 약취도가 3, 4도인 사람을 판정요원으로 선정하였다.

공기희석배율은 무취공기 제조 장치와 활성탄이 채워진 6방 분배기를 통해 제조된 무취공기를 무취 주머니에 담고 시료를 주입하여 단계별로 희석하여 패널들이 직접 평가하였으며, 전체 판정요원의 시료희석 배수 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지를 기하 평균하여 판정요원 전체의 희석배수로 산정하였다.

Table 3.4. Test substance for choosing air dilution test assessor

시 험 액	농 도	제조용액	냄새의 성격
Acetic Acid	1.0 wt %	증류수	식초냄새
Trimethylamine	0.1 wt %	증류수	생선썩는 냄새
Methylcyclopentenolone	0.32 wt %	유동파라핀	달콤한, 설탕타는냄새
β -Penylethylalcohol	1.0 wt %	유동파라핀	장미향 냄새

무
취
공
기
제
조
장
치



(2) Ammonia

Ammonia는 0.5 % 봉산용액 40ml를 2개의 유리로 제작된 흡수병에 20ml씩 나누어 담고 직렬로 연결 한 후 2 l /min으로 10분간 20 l 의 시료를 직사광선을 차단한 다음 채취하였다. 시료 채취가 완료된 시료는 분석 전까지 4 °C 이하에서 냉암소 기능이 가능한 보관 상자에 냉장보관 및 운반하였다. 시료 채취 후 흡수병에 들어 있는 시료는 50ml 메스플라스크에 옮기고, 시료채취 시 사용한 흡수액과 동일한 흡수액 10ml를 이용하여 흡수병 내부에 잔류할 수 있는 Ammonia를 세척하여 메스플라스크에 옮겨 전량을 50ml로 하였으며, 이 중 10ml를 분석용 시료로 사용하였다.

Ammonia 분석에 사용한 UV/vis spectro photometer는 Fig. 3.2와 같으며, 분석용 시료용액에 페놀-펜타시아노 니트로실 철(III)산 나트륨용액 5ml와 차아염소산 나트륨용액 5ml를 가하고, 25 ~ 30 °C의 수 욕조에서 1시간 방치 후 암모늄이온과 반응시켜 생성되는 인도페놀류의 흡광도를 측정하여 Ammonia를 정량하는 방법인 인도페놀법을 이용하여 청색으로 발색시킨 후 UV/vis(Cary 300, Varian, U.S.A)를 이용하여 640nm 파장에서 분석하였다.

Ammonia의 표준물질은 건조기를 이용하여 130 °C에서 1시간 건조한 96 % 황산암모늄(특급, Junsei, Japan) 0.295g을 증류수에 녹여 전량 1 l로 조제한 후 이 표준용액 일부를 취하여 Ammonia 흡수액인 0.5 % 붕산용액으로 50배 희석하였다. 희석된 Ammonia 표준용액을 0 ~ 40ml까지 단계적으로 취하고 각각에 Ammonia 흡수액을 가하여 전량을 50ml로 하였으며, 각각 10ml씩을 취하여 분석용 시료와 동일하게 인도페놀법을 이용하여 발색 시킨 후 흡광도 측정을 통해 검량선을 작성하였다.



Fig. 3.2. Ammonia analyzer (UV/vis Spectrophotometer).

(3) 황 화합물

황 화합물 시료채취에 사용된 장비는 복합악취에 사용된 동일한 장비로 펌프 내장형의 진공흡인상자(Odor design, Korea)와 polyester aluminum bag(5 l, Top trading, Korea)을 이용하여 측정하였다. 황 화합물 측정에 사용한 polyester aluminum bag은 측정 전 고순도 질소(99.999 %)로 3회 이상 세척하였으며, 현장 시료로 1회 이상 채우고 배기한 후 1 l /min으로 5분간 시료를 채취하였다. 시료채취가 완료된 bag은 상온(15 ~ 25 °C)의 유지와 직사광선을 피하여 보관 및 운반하였으며, 분석은 24시간 이내에 실시하였다.

황 화합물의 분석조건과 분석에 사용한 GC/FPD는 Fig. 3.3 및 Table 3.5에 나타내었으며, 황 화합물은 thermal desorber(Unity/Air Server, Markes, U.S.A)를 이용

하여 농축하였으며, 농축된 시료는 황 화합물에 선택성이 좋은 불꽃광도검출기 (FPD)가 설치된 GC(2010, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였다. 황 화합물의 선형성 평가는 Hydrogen sulfide와 다른 3종류(Methyl mercaptan, Dimethyl sulfide, Dimethyl disulfide)의 황 화합물이 혼합되어 있는 약 40 ppm 농도의 표준가스(한국표준과학연구원, Korea)를 1,000배 희석하여 thermal desorber에 50, 125, 250ml를 주입하여 농축시킨 후 GC/FPD로 분석하여 검량선을 작성하였다.

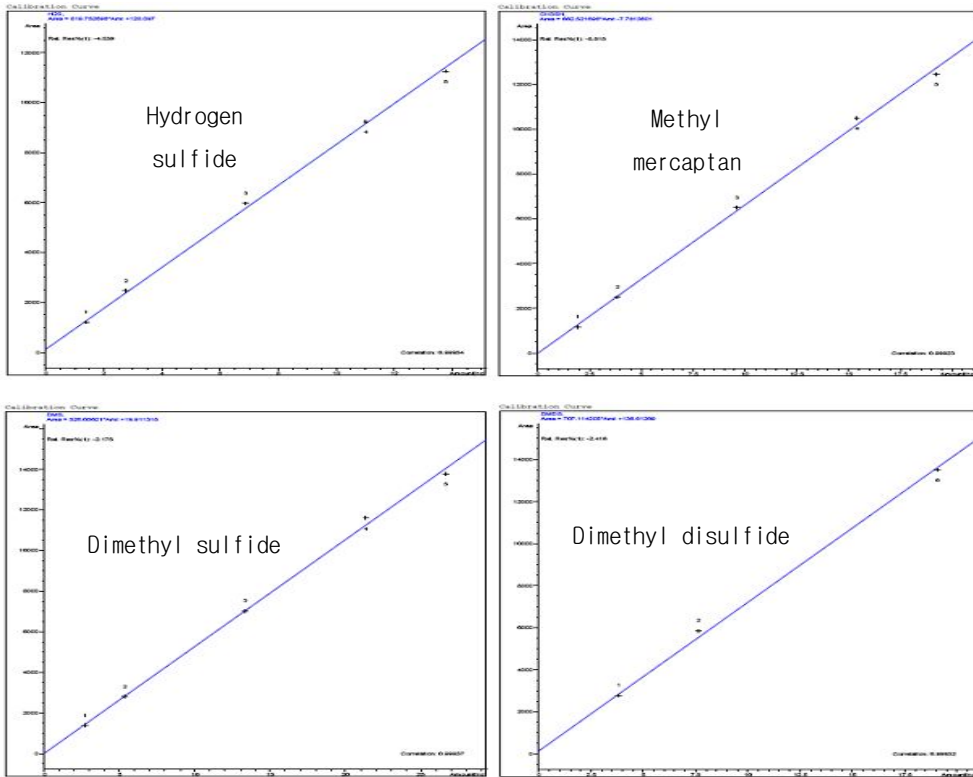


Fig. 3.3. Sulphur compound analyzer(GC/FPD).

Table 3.5. Analysis condition of sulfur compounds

구 분	분석기기 사양 및 분석조건
Thermal desorber	Unity/Air Server, Markes, U.S.A
GC	GC-2010, Shimadzu, Japan
Detector	FPD
Column	CP-SIL 5CB(60m × 0.32mm × 5um)
Column temperature	50 °C(5min)→10 °C/min→200 °C(1min)→240 °C(1min)
Injector temperature	80 °C
Detector temperature	250 °C
Carrier gas	He(99.999 %), 20ml/min

황 화합물 검량선



(4) 유기산

유기산류(VFAs)의 시료채취는 NaOH 0.4g을 증류수에 녹여 100ml로 한 0.1N NaOH 수용액 80ml를 2개의 흡수 병에 40ml씩 나누어 담고 직렬로 연결 한 후 2 l/min으로 10분간 20 l의 시료를 직사광선을 차단한 다음 채취하였다. 시료 채취가 완료된 시료는 분석 전까지 4 °C 이하에서 냉암소 기능이 가능한 보관 상자를 이용하여 냉장 보관 및 운반하였다. 시료 채취 후 흡수 병에 들어 있는 시료는 2개의 50ml 메스플라스크에 옮기고, 시료채취 시 사용한 흡수액과 동일한 흡수액 10ml를 이용하여 흡수병 내부에 잔류할 수 있는 유기산을 세척하여 메스플라스크에 옮겨 전량을 90 ml로 하였으며, 이 중 5ml를 분석용 시료로 사용하였다.

분석에 사용한 HS-GC/FID는 Fig. 3.4와 같으며, 분석용 시료용액을 넣은 바이알에 NaCl 2.3g과 황산수용액 1ml를 가하여 pH를 1이하로 유지한 후, 바이알 상층부에 기화된 유기산을 가스크로마토그래피(GC/FID)로 주입하여 분석하였다. 전처리 및 분석조건은 Table 3.6과 같으며, 유기산의 선형성 평가는 유기산류 표준용액 Propionic acid(99.5 %), Butyric acid(99.0 %), i-Valeric acid (99.0 %), n-Valeric acid(99.0 %)를 일정한 비율로 희석한 후 시료와 동일한 방법으로 전처리를 실시하여 검량선을 작성하였다.

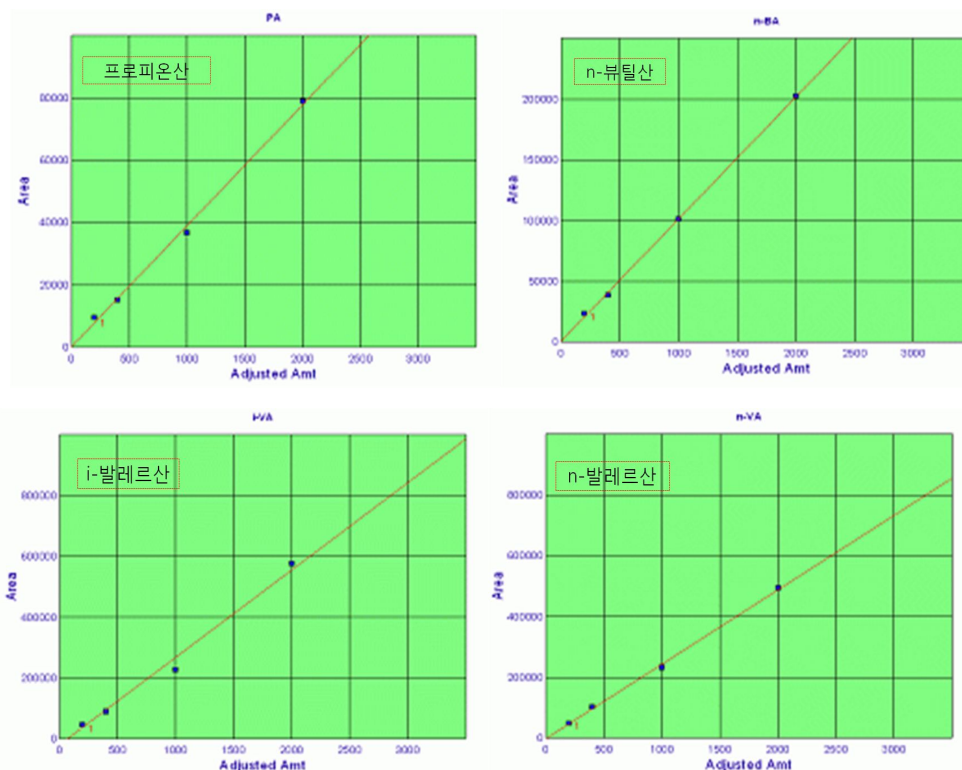


Fig. 3.4. Organic acid analyzer(HS-GC/FID).

Table 3.6. Analysis condition of organic acid

구 분	전처리 · 분석기기 사양 및 분석조건
Headspace	H ₂ S ₄ O
Headspace Oven temp.	90 °C
Needle and Transfer line temp.	120 °C, 150 °C
GC	Clarus 600, Perkin elmer, U.S.A
Detector	FID
Column	Elite-WAX(30m × 0.53μm × 0.5μm)
Column temp.	40 °C(5min)→80 °C/min(10min)→150 °C(5min)
GC Injector temp.	150 °C
Detector temp.	250 °C
Carrier gas	He(99.999 %), 20psi

유기산의 검량선



(5) 자동측정기에 의한 악취물질 측정

축사에서 발생하는 악취의 발생량을 지속적으로 파악하기 위해 돈사 내부에 자동측정 장치를 설치하여 악취발생 추이를 분석하였으며, Table 3.7에 Ammonia 및 Hydrogen sulfide 자동측정 장비의 사양과 Fig.3.5에 돈사 내부에 설치된 사진을 나타내었다.

사용된 악취모니터링 장비는 Ammonia 및 Hydrogen sulfide를 측정하는 장비로(모델 : Odor Catch Network) 축사내부에서 발생하는 Ammonia 및 Hydrogen sulfide를 연속적으로 흡입하여 측정 장비내부에 장착된 전기화학방식의 측정 셀에 의해 실시간으로 분석을 수행하여 Ammonia와 Hydrogen sulfide의 발생량에 대한 추이를 파악하기 위해 사용하였다.

측정기간은 2009년 7월 23일 ~ 2009년 11월 25일까지로 약 4개월 동안 돈사내부의 사육되고 있는 양돈의 호흡 위치와 동일하게 바닥에서 약 50cm 높이에 설치하여 지정악취물질 중 Ammonia 및 Hydrogen sulfide를 3분 단위로 연속 측정하였다.

Table 3.7. Specifications of ammonia and hydrogen sulfide automatic measuring equipment

항 목	측정방식	측정범위	측정오차	제조원	적용방식
Ammonia	전기화학식	0 ~ 100 ppm	±2 ~ 10 %	(주)과학기술 분석센터	악취가스를 실시간으로 흡입하여 농도측정
Hydrogen sulfide	전기화학식				



(A) ammonia.



(B) hydrogen sulfide.

Fig. 3.5. Monitoring equipment of designated odor compounds(ammonia, hydrogen sulfide).

나. 미생물

(1) 시료채취 방법

Fig. 3.6에 나타낸 바와 같이 미생물 분석을 위한 시료채취는 각 지점에서 3회씩 시료를 채취하였다. A, B 돈사는 slurry pit 바닥에서 약 30cm 상부지점에서 시료를 채취하였으며, C 돈사는 분뇨처리시설에서 처리된 처리수가 돈사의 slurry pit로 재순환을 시키고 있어 돈사를 기준으로 분뇨배출구 및 최종 처리수인 돈사 유입수에서 실시하였다. 시료채취장비는 시료의 대표성을 유지하기 위해 slurry pit 바닥에서 30cm상부의 깊이까지 내려갈 수 있도록 직경이 50mm의 아크릴을 이용하여 주사기 형태로 제작한 장비를 사용하여 채취하였으며, 시료채취량은 각 지점에서 약 1.5ℓ 정도를 무균 채수 통에 담아 차광 및 냉장 보관하여 분석실로 이동하여 분석을 실시하였다.



Fig. 3.6. Sampling of microorganism at pig house.

(2) 미생물 분석방법

연구대상시설에서 채취한 시료는 대전광역시 유성구 관평동에 소재한 미생물 분석이 가능한 분석센터로 이송하여 분뇨 중의 미생물 분석을 실시하였다.

① *Lactobacillus acidophilus*

배지는 *Lactobacillus* MRS agar(Difco)을 사용하였고, BCP agar(Eiken chemical)이고, 실험방법은 희석배율을 배양 후 colony가 나올 수 있도록 10진 희석 후 100 μ l 균액을 준비해 놓은 MRA agar와 BCP배지에 도말하였으며, 완전히 흡수된 배지를 뒤집

어서 36 ± 1 °C, 72 ±3시간 배양하였다. Gram 염색을 통한 형태학적 검사, 생화학적 검사를 통한 당 분해능실험을 실시하였으며, 발생한 집락을 colony를 계측하여 희석비율을 곱하여 균수를 계산하였다.

② *Bacillus sp.*

배지는 Nutrient agar(Difco)을 사용하였고, 실험방법은 희석배율은 배양 후 colony가 나올 수 있도록 10진 희석 후 0.1 mL 균 액을 준비해 놓은 NA배지에 도말하였다. 완전히 흡수된 배지를 뒤집어서 36 ± 1 °C, 24 ~ 48 ±3시간 배양한 결과 다른 형태의 colony를 모두 선별하여 Gram 염색, 생화학적 검사, API kit 등을 시험하여 *Bacillus sp.*를 동정한 후 각 집락의 수를 계측하여 균수를 산정하였다.

③ *Bacillus cereus*

배지는 MYP agar을 사용하였으며, 실험방법은 균수 측정시료 25g(25 mL)을 225 mL의 멸균 생리식염수에 가하여 2분간 고속으로 균질 화시켜 시험용액으로 하였다.

희석수를 사용하여 10배 단계 희석 액을 만들어 MYP 한천평판배지에 단계별 희석용액 0.2 mL씩 5장을 도말하여 총 접종 액이 1 mL정도로 하여 30 °C에서 24시간 배양시켰으며, 배양 후 혼탁한 환을 갖는 분홍색 집락을 계수하였다.

확인시험은 계수한 평판에서 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통 한천배지에 접종하고 30 °C에서 24시간 배양하였다.

생화학적 확인시험은 그람염색(양성) 후 형태관찰(간균), β-hemolysis(양성), 운동성(양성/음성), VP test(양성), catalase(양성), nitrate 환원(양성), lysozyme 저해(양성), egg yolk 반응(양성), 혐기적 포도당이용(양성)을 확인 후 최종적으로 API kit를 확인하였다.

④ *Enterococcus faecalis*

배지는 *m-Enterococcus* agar(Difco)을 사용하였으며, 실험방법은 희석배율을 배양 후 colony가 나올 수 있도록 10진 희석 후 0.1 mL 균 액을 준비해 놓은 *m-Enterococcus* agar에 도말하였으며, 완전히 흡수된 배지를 뒤집어서 36 ± 1 °C, 24

~ 72±3시간 배양하였다.

형성된 집락의 형태, Gram 염색을 통한 형태학적 검사, 생화학적 검사, API kit를 통하여 형성된 colony를 동정하였고, 형성된 colony를 계측하여 희석비율을 곱하여 균수를 계산하였다.

⑤ *Saccharomyces cerevisiae*

배지는 Sabouraud Dextrose Agar(Difco)을 사용하였고, 실험방법은 희석배율을 배양 후 colony가 나올 수 있도록 10진 희석 후 0.1 mL 균 액을 준비해놓은 SDA배지에 도말하였으며, 완전히 흡수된 배지를 뒤집어서 25±1 °C, 5일 ~ 7일 배양하여 현미경 검경 (형태관찰), 생화학적 검사를 통한 확인시험을 실시한 다음 형성된 colony를 계측하여 희석비율을 곱하여 균수를 계산하였다.

⑥ 분원성 대장균군(유당배지법)

배지는 Lactose broth(Difco), EC broth(Difco), EMB agar(Difco)을 사용하였으며, 추정시험은 시험용액 10, 1, 0.1 mL을 취하여 각각 3개씩 LB broth 에 접종 35 °C에서 24 ±2시간 배양. 이때 가스가 발생하지 않을 경우 더 배양하여 48 ±3 시간까지 관찰하였다.

시료의 균수가 많을 경우 적절히 희석배율을 늘려서 접종을 실시하였고 확정시험은 추정시험에서 가스발생이 있는 발효관으로부터 EC배지에 이식하여 44.5 ± 0.2 °C에서 24 ±2시간 배양하여 가스발생을 보인 EC배지로부터 EMB 배지에 도말하여 35 °C에서 24시간 배양 후 집락을 관찰하였다.

완전시험은 EMB 배지 상에서 전형적인 집락 형성 시 1개 또는 비전형적인 집락 일 경우에는 2개 이상을 따서 각각 유당배지발효관과 보통한천배지에 접종하여 35 °C에서 48시간 동안 배양하였으며, 이때 가스를 발생한 발효관에 해당되는 보통한천배지의 집락에 대하여 그람염색을 실시하였다.

그람음성, 무아포성 간균이 증명되면 완전시험 양성이며 생화학적 검사, API kit를 통하여 대장균군으로 판정되면 대장균군 양성으로 판정하였고, MPN table에 양성발효관수를 읽어 시료 내의 분원성 대장균군을 산정하였다.

다. 수질

돈사별 분뇨의 수질분석은 연구기간 동안 3회에 걸쳐 측정·분석을 실시하였다. 시료채취 조건은 Table 3.8과 같으며, Fig. 3.7에 돈사별 수질시료 채취현장을 나타내었다. A, B 돈사의 분뇨의 시료채취는 돈사 slurry pit에서 수행하였고, 측정 높이는 slurry pit 바닥에서 약 30cm 상부에서 시료를 각각 약 1.5 L씩 채취하여 분석하였다.

C 돈사는 분뇨가 순환되는 구조로, 돈사의 배출구와 분뇨처리시설의 최종 처리 수조에서 각각 약 1.5 L씩을 채취하여 분석하였다.

Table 3.8. Sampling condition of water quality

구 분	시 료 채취량	시료채취장소	측정횟수			비고
			1차 측정	2차 측정	3차 측정	
A 돈사	약 1.5 L	돈사내부 (slurry pit)	'09.8.27	'09.9.23	'09.11.24	무균 채수통 냉장보관 및 차광
B 돈사						
C 돈사		돈사 분뇨배출구 순환수 유입구				



Fig. 3.7. On-site water sampling at the pig house.

3.2 조사지점 선정

연구대상 시설의 선정은 본 연구 대상인 분뇨순환 돈사와 유사한 기존의 시설을 선정하여 연구목적과 부합이 되도록 대조군으로 동일사업장에서 사육방식이 다른 시설을 선정하여 연구를 수행하였다. A 돈사는 우리나라에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 활성슬러지법의 가축분뇨 처리시설이 갖추어진 통상적인 시설로 분뇨를 처리하고 지속적으로 배출하는 형태이고, 환경개선제를 전혀 사용하지 않은 사육방식의 돈사이며, B 돈사는 A 돈사 구조와 유사하고 기존방식의 가축분뇨처리시설을 갖춘 돈사로서 환경개선제를 사료에 혼합하여 먹이로 급이하는 시설을 선정하였다.

C 돈사는 다른 돈사구조와 유사하나 발생하는 가축분뇨를 처리시설에서 처리한 후 처리수를 다시 돈사에 순환시키는 구조로 되어 있으며, 환경개선제를 먹이에 혼합하여 급이하고, 돈사바닥의 slurry pit에 살포하는 시스템의 돈사 형태를 갖춘 시설을 선정하여 발생하는 악취의 특성과 저감에 대해 연구를 수행하였다.

3.2.1 분뇨순환 C 돈사

가. 개념

Fig. 3.8에 본 연구대상 돈사에 적용한 분뇨 순환시스템에 대한 개략도를 나타내었으며, 분뇨순환시스템은 돈사에서 발생된 분뇨를 미생물이 활성화 되어 있는 분뇨처리시설로 유입시켜 분뇨 중 오염물질을 처리하고 미생물을 활성화시킨 처리수를 다시 돈사 slurry pit로 재순환시키는 방식으로 돈사에서 발생하는 분뇨는 처리시설을 거쳐 지속적으로 배출시키는 일반적인 방식과 차이점이 있는 방식이다.

분뇨 순환시스템에 적용된 돈사의 구조는 돈사에서 양돈이 배설하는 분뇨가 하부에 설치되어 있는 slurry pit로 모아져 분뇨가 저장될 수 있는 축사방식으로 일반적으로 많이 적용되는 시스템과 유사한 구조에 적용한 시스템이다.

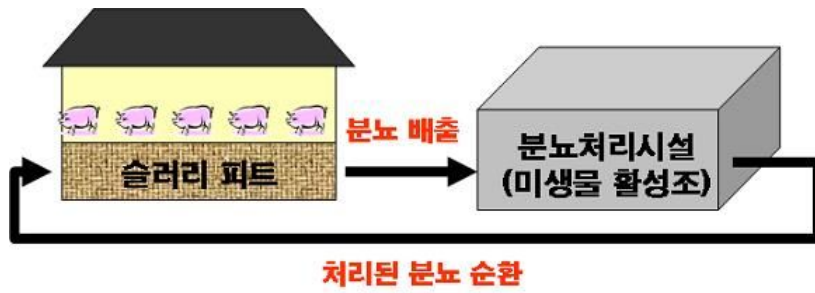


Fig. 3.8. Outline of manure circulation system.

돈사에서 발생하는 분뇨를 순환시스템에서 처리한 최종처리수를 돈사에 재이용하는 구성도 및 사양에 대해 Fig. 3.9와 Table 3.9에 나타내었다.

돈사 바닥에 설치된 slurry pit로 모이는 분뇨를 분뇨처리시설의 원수조를 거쳐 유량조정조로 유입시킨 후 적절량을 1차 폭기조에서 교반과 함께 폭기 과정으로 호기성 조건으로 활성화하여 발효조에서 분해시킨다. 발효조에서 처리한 분뇨는 2차 폭기조로 이동하여 교반과 폭기가 이루어진 후 1, 2차 침전조에서 고체성분과 액체성분으로 분리한 후 순환조를 통해 최종 처리수는 다시 slurry pit로 재순환하여 사용하는 구조로 구성되어 운영되어 진다.

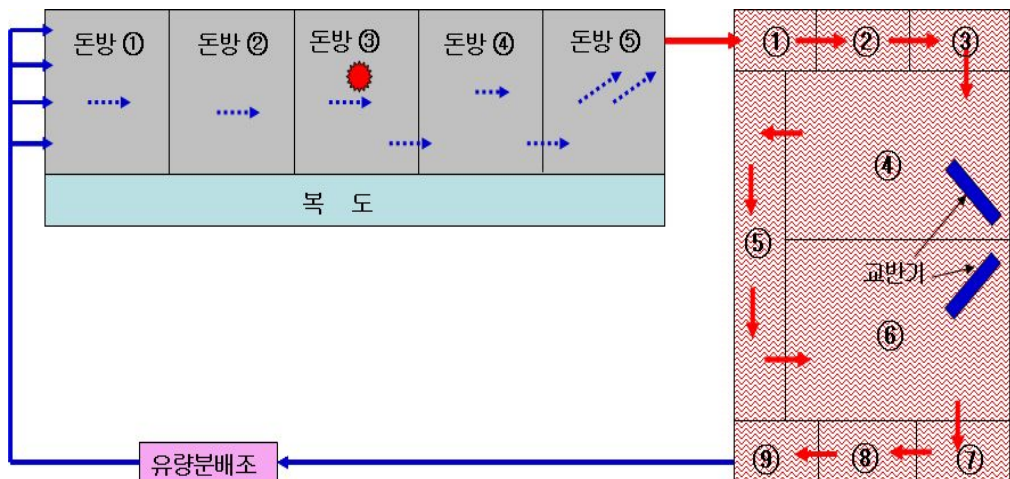


Fig. 3.9. Process chart of manure circulation system.

Table 3.9. Specification of manure circulation system

Fig. 3. 9 의 분뇨처리시설번호	분뇨처리시설 명칭	체적 (m ³)	Fig. 3. 9 의 분뇨처리시설번호	분뇨처리시설 명칭	체적 (m ³)
①	원수조	11.1	⑥	2차폭기조	48.0
②	유량조정조	7.3	⑦	1침전조	7.1
③	투입조	11.1	⑧	2침전조	11.1
④	1차폭기조	48.0	⑨	순환조	11.1
⑤	발효조	35.2	분뇨처리시설 전체체적		190

1, 2 폭기조 : 교반기가동(상시) 및 산소 공급으로 호기조건 유지

분뇨순환시스템과 일반 돈사의 장단점을 비교한 결과를 Table 3.10에 제시하였다. 분뇨 순환시스템은 고액분리와 퇴비화시설이 별도로 필요하지 않아 폐사율이 낮아지고 소요인력과 사육일수가 절감 되는 장점이 있으며, 양돈축산업에서 가장 문제시 되고 있는 악취발생을 현저히 저감시킬 수 있는 기술이지만 양돈농가의 이해도가 부족하여 적용현장이 많지 않고 4월에서 10월 사이에는 농경지에 작물이 심어져 있어 시비가 어려워 별도의 저장조가 필요하며, 본 처리시스템은 미생물이 사용되는 관계로 소독이 제한하여야 하는 단점도 있다.

분뇨순환시스템을 적용한 돈사는 분뇨가 처리된 처리수가 순환하는 구조로 형성되어 별도의 고형분이 발생하지 않으므로 고액분리 및 퇴비화시설을 필요로 하지 않아 악취발생원 감소에 따른 악취저감효과를 얻을 수 있으며, 돈사 내부의 사육환경개선으로 과밀사육, 폐사율감소, 출하일수 단축 및 시설유지 비용 절감 등의 부가적인 수익이 창출될 수 있다.

실제 분뇨순환시스템을 적용하여 운영 중인 국내 양돈시설을 대상으로 사육밀도, 소요인력, 폐사율, 사육일수, 경제적 효과 및 악취발생현황을 조사한 결과 일반 양돈시설과 비교하여 소요인력은 기존의 2명/1,000두에서 1명/1,000두로 소요인력이 낮아져 양돈농가의 부족한 인력에 도움을 주고 있는 것으로 조사되었다. 비육돈의 경우 사육일수가 평균 180일 이상에서 170일 정도로 10일 이상의 조기 출하가 가능하게 되어 날로 비싸지는 사료비용의 절감과 조기출하로 회전을 단축에 따른 농가 소득에 이바지하고 있는 것으로 나타났다.

단위면적당 사육할 수 있는 두수도 기존의 0.6 ~ 0.9두/m²에서 1.0 ~ 1.3두/m²로 사육밀도는 높이는 효과를 볼 수 있어 기본적으로 소요되는 경비를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

돈사 및 발생된 양돈분뇨처리 액비 중 악취발생이 현저하게 낮은 수준으로 조사 되어 돈사의 생활환경 개선에 따라 기존의 평균 5 ~ 10 %로 높았던 폐사율이 평균 1 ~ 2 % 이하로 自然死 수준으로 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 3.10. Comparison between the strength and weakness of manure circulation system and general pig house

항 목		분뇨순환시스템 돈사	일반 돈사
장 점	고액분리	불필요	필요
	퇴비화시설	불필요	필요
	소요인력	절감 : 평균 1인/1,000두	평균 : 2인/1,000두
	사육일수	절감 : 평균 170일	평균 : 180일
	폐사율	낮음 : 평균 1 ~ 2 % 이하	평균 : 5 ~ 10 %
	사육밀도	증가 : 평균 1.0 ~ 1.3두/m ²	평균 : 0.6 ~ 0.9두/m ²
	발생된 액비	냄새 거의 없음	고농도 악취발생
	악취발생	낮음	악취 발생농도 높음
	시설비용	절감: 고액분리기, 퇴비화 장비, 액비화 시설 등 불필요	고액분리기, 퇴비화장비, 액비화 시설 등 필요
	생산비	절감 : 폐사율, 소요인력 및사육일수 감소, 사육밀도 증가 등으로 생산비 절감	-
단 점	적용현황	적용실적 미미	-
	액비저장조	4월 ~ 10월에 액비시비가 불가능하여 액비 저장조 필요	-
	소독제 사용금지	소독이 금지 : 미생물에 의한 처리방식	-

나. 일반현황

돈사의 사육조건이 비슷한 3개의 돈사를 대상으로 악취발생특성 평가를 수행하였으며, 돈사의 일반현황을 Table 3.11에 나타내었다.

연구 대상 시설의 선정은 유사한 조건을 가진 동일 사업장으로서 사육방식으로 돈사의 형식은 경량판넬을 이용하여 건축되어 창이 없는 무창돈사이고, 선정된 돈사의 바닥은 A, B 돈사는 부분적으로 slot이 되어있는 구조이며, C 돈사는 전체가 slot구조로 형성된 slurry pit로 돈사에서 배출되는 분뇨가 하부로 떨어지는 구조이다. 사육되고 있는 양돈은 A, B 돈사에서는 비육돈을 사육하고 C 돈사는 비육돈과 육성돈을 사육하는 돈사이다.

분뇨처리방식은 A, B 돈사의 경우 일반적으로 축사에서 이용하는 활성슬러지법으로 처리시설로 유입되는 분뇨를 처리한 후 배출하는 형태로 현재 양돈축사에 널리 사용되어지고 있는 방법이며, 반면에 C 돈사의 분뇨처리공법은 돈사에서 발생한 분뇨를 미생물 활성조로 구성된 분뇨처리시설에 유입시켜 분뇨 중 오염물질을 처리하고 미생물로 활성화된 처리수를 다시 C 돈사의 slurry pit로 재순환시키는 방식을 사용하고 있다. 따라서 선정된 돈사의 조건은 분뇨처리시설을 제외한 다른 조건은 유사한 시설이라 할 수 있다.

Table 3.11. Comparison with each case pig house conditions

구 분	A 돈사	B 돈사	C 돈사
돈사형식	무창돈사(경량판넬)	무창돈사(경량판넬)	무창돈사(경량판넬)
사육연령	비육돈	비육돈	육성/비육돈
바닥구조	부분slot	부분slot	전면slot
분뇨순환	미순환	미순환	순환
slurry pit 깊이	90cm	90cm	110cm

3.2.2 돈사구조 및 환기

가. A 및 B 돈사

Fig. 3.10에 A와 B 돈사의 내부구조에 대한 사진과 Fig. 3.11에 A와 B 돈사 바닥과 지하에 설치된 구조에 대해 그림으로 나타내었다.

A 돈사의 구조는 폭 12m이고 길이가 32m로 면적이 360㎡의 규모로 경량판넬을 이용하여 구성된 축사 바닥은 부분적으로 slot구조로 형성되어 있으며, 지하에는 분뇨가 저장될 수 있는 slurry pit로 형성되어 있는 일반적인 돈사형태로 되어 있다. 돈사의 온도 조정과 환경 등을 위한 급기설비는 돈사 중앙에서 급기가 이루어지는 방식으로 급기 배관에 팬을 설치하여 강제적으로 급기가 이루어지도록 설계 및 시공이 되어 있다. 내부의 공기를 외부로 배출하는 배기설비는 돈사의 지붕과 측벽에 설치된 환기팬에 의해 강제배기의 환기방식을 적용하고 있다.

B 돈사의 구조는 폭 12m이고 길이가 40m로 면적이 480㎡의 규모로 경량판넬로 구성된 돈사로 A 돈사의 유사한 구조로 되어 있다.



(A) A pig house.



(B) B pig house.

Fig. 3.10. Inside picture A and B pig house.

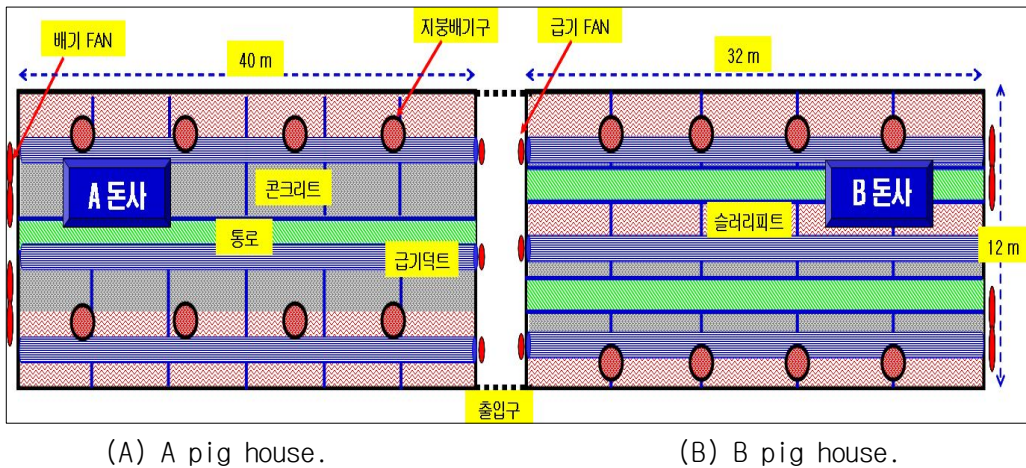


Fig. 3.11. Plan view of each construction of A and B pig house.

나. C 돈사

Fig. 3.12에 C 돈사의 구조와 환기방식을 나타냈으며, Fig. 3.13에는 C 돈사 바닥 구조 및 slurry pit의 구조를 나타냈다.

분뇨처리시설의 순환시스템을 적용한 C 돈사의 구조는 폭 10m이고 길이가 50m로 면적이 500㎡의 규모로 경량판별을 이용하여 구성된 축사에 바닥은 전체적으로 구성된 slot구조로 형성되어 있으며, 지하에는 분뇨가 저장될 수 있는 slurry pit로 형성되어 있다. 돈사 slurry pit는 전 구간에서 분뇨의 이동이 용이하도록 하나의 구획으로 이루어져 있고, 300ton 정도의 분뇨가 채워진 상태로 운영된다. 돈사는 양돈의 연령에 따라 환기량을 조절할 수 있도록 환기장치가 별도로 구성되어 있고, 질병의 전이를 방지하기 위하여 돈사의 돈방 간 공기흐름이 차단되도록 칸막이가 설치되어 있다.

돈사의 온도 조정과 환경 등을 위한 급기설비는 내부공기와 외부의 공기의 급격한 변화를 최소화하기 위해 인입된 외부의 공기가 돈사 측면에 설치된 복도를 거쳐 내부의 온도와 유사한 조건으로 예열한 후 돈사 상부로 급기가 이루어지며, 돈사 내부 공기의 배기는 지붕의 용마루 부분으로 자연배기 및 측벽에 설치된 환기설비를 통해 강제배기의 절충방식으로 설계는 되어있으나, 실질적인 돈사의 환기량 조절은 배기 FAN의 유량에 따라 인입공기량이 조절되는 음압환기방식을 적용하고 있다.

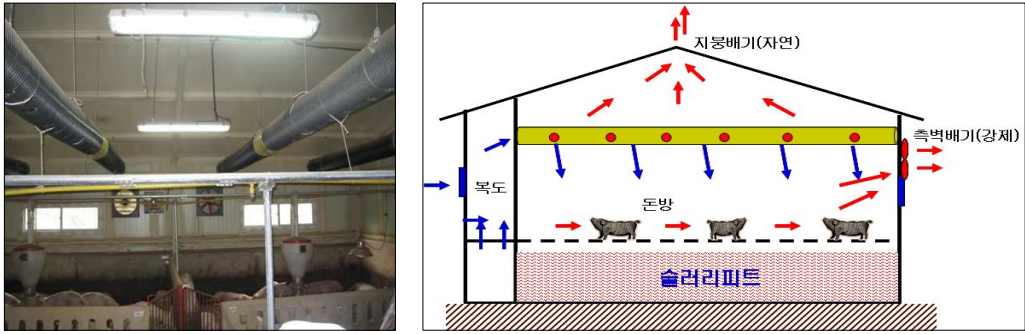


Fig. 3.12. Structure and air circulation of C pig house.

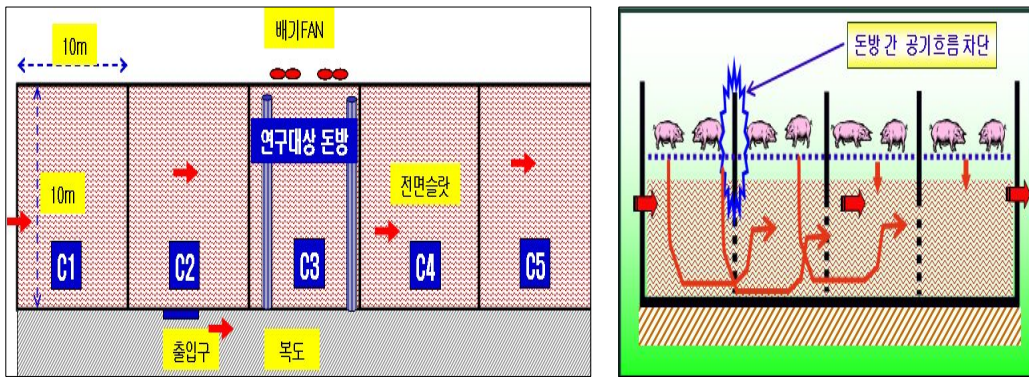


Fig. 3.13. Structure of slurry pit and ground of C pig house.

3.2.3 운영조건

운영조건이 각각 다른 3개의 돈사의 악취발생량을 평가하기 위한 환경개선제는 동일한 제품을 사용하였으며, 돈사별 사용현황을 Table 3.12에 나타내었다. 선정된 3개의 돈사에서 발생하는 악취발생량 및 저감에 대한 연구를 수행하기 위해 각각의 돈사에 대해 운영을 다음 조건으로 운영하였다.

A 돈사는 일반적으로 우리나라의 양돈축사에서 일반적으로 많이 적용하고 있는 형태로 본 연구의 순환분뇨 돈사의 악취발생특성 및 악취저감에 대한 대조군으로 선정된 시설로 환경개선제를 살포나 급이를 실시하지 않은 돈사로 일반사업장과 유사한 사육방식이며, 발생하는 분뇨를 순환하지 않고 지속적으로 처리하여 배출하는 대조군이다.

B 돈사는 A 돈사와 유사한 돈사의 형태나 분뇨처리시설을 갖추고 있는 시설로서 *Bacillus subtilis*, *Bacillus coagulance*, *Lactobacillus acidophilus* 등이 주 성분인 환경개선제를 사료 1ton당 1 ~ 2kg를 혼합하여 연구기간동안 지속적으로 급이를 실시하였으며, A 돈사의 운영조건과 동일하게 발생하는 분뇨를 순환하지 않고 지속적으로 처리하여 배출하는 대조군이다.

C 돈사는 A, B 돈사와 유사한 돈사의 형태에 돈사에서 발생한 분뇨를 미생물 활성조로 구성된 분뇨처리시설에 유입시켜 분뇨 중 오염물질을 처리하고 미생물로 활성화된 처리수를 다시 C 돈사의 slurry pit로 재순환시키는 방식의 운영방식에 B 돈사의 양돈에 급이 용으로 사용한 환경개선제를 사료 1ton당 1 ~ 2kg를 혼합하여 연구 기간 동안 지속적으로 급이를 실시하였으며, 동일성분의 환경개선제를 액상으로 제조하여 30배로 희석시켜 5일에 1회씩 slurry pit에 지속적으로 살포를 실시하는 연구를 수행하였다. 대조군으로 선정된 A 돈사의 환경개선제 미사용 및 분뇨 미 순환과 B 돈사의 환경개선제 급이 및 분뇨 미 순환에 대한 C 돈사의 환경개선제 급이 및 slurry pit의 살포로 배설물 중 유기물함량 감소 가능성과 배설된 분뇨가 환경개선제에 의해 분해가 이루어져 대조군의 돈사에서 발생하는 악취발생량과 비교하는 운영조건으로 설정하였다.

Table 3.12. Usage of environmental enhancer at pig house

구 분	환경개선제 적용현황				비 고
	사용여부	적용방식	주요성분	사용량	
A 돈사	미사용	-	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus coagulance</i> <i>Lactobacillus cidophilus</i>	-	-
B 돈사	사 용	혼합급이		1 ~ 2 (kg/사료ton)	-
C 돈사	사 용	혼합급이		1 ~ 2 (kg/사료ton)	
		slurry pit 살포	30배 희석 (1회/5일)		

3.2.4 분뇨처리방식 및 분뇨발생량 추정

가. 분뇨처리 계통

(1) A, B 돈사

A, B 돈사에서 발생한 분뇨를 처리하는 계통도를 Fig. 3.12에 나타내었다. A, B 돈사에서 발생한 분뇨는 돈사 바닥의 slot부분의 개방된 부분을 통해 하부에 설치된 slurry pit로 모여 저장 되어진다. 저장된 slurry pit 양돈분뇨는 활성화오니 처리방식의 분뇨 집수조에 수집되어 고액분리를 통해 분과 뇨로 분리 된 다음 고속발효 및 퇴비화시설 등에서 처리한 후 퇴비와 액비로 반출되어진다. 즉 발생하는 분뇨는 지속적으로 처리를 실시 한 후 배출시키는 형태의 방식이다.

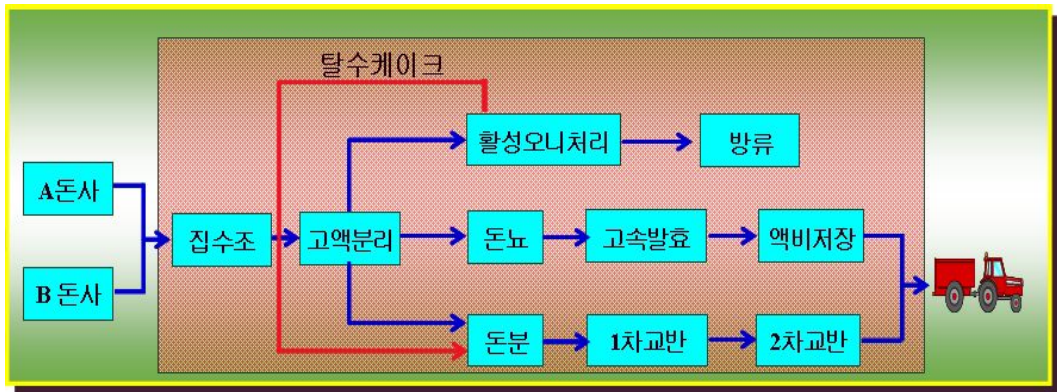


Fig. 3.14. Process chart of manure treatment at A and B pig house.

(2) C 돈사

C 돈사에 적용된 분뇨순환 돈사에 대한 세부적인 구조 및 명칭을 Table 3.9, Fig.3.9에 나타내었다. C 돈사에 적용된 분뇨처리시설은 돈사에서 발생한 분뇨가 각 돈사 바닥에 설치된 slot부분의 개방된 부분을 통해 전 구간에서 분뇨의 이동이 용이하도록 하나의 구획으로 이루어져 있는 지하 slurry pit로 저장되어 미생물이 활성화되어 있는 분뇨처리시설로 유입되어 분뇨 중 오염물질을 처리하고 미생물을 활성화시킨 처리수를 다시 돈사 slurry pit로 재순환시키는 방식의 분뇨처리시설이다.

분뇨처리시설의 구성은 slurry pit의 분뇨를 수집하는 원수조를 통해 후단공정에 원활하게 유량을 조정해 주는 유량조정조, 호기조건을 형성할 수 있게 폭기 시설

이 갖추어진 1, 2차폭기조, 환경개선제에 함유된 미생물이 분뇨에 함유된 유기물을 발효시키는 발효조, 호기 상태에서 미생물에 의해 발효 분뇨의 유기물을 침전시키기 위한 1,2차 침전조 및 미생물로 활성화된 처리수를 slurry pit로 순환시키기 위한 순환조 등 깊이가 약 2m정도로 구성되어 있다.

C 돈사에는 분뇨처리시설과 돈사는 초기에 전체용량의 30 %정도를 물로 채웠고, 배양된 미생물을 주기적으로 살포하여 미생물의 우점상태를 확보하였다. slurry pit에서 분뇨가 배출되는 시기와 분뇨처리시설에서 순환되는 시기가 동일한 시점이 되도록 조절하였다.

나. 분뇨발생량

연구대상으로 선정된 3개의 돈사는 사료의 소비량이 많고 분뇨의 발생량이 많아 악취의 발생량이 많은 것으로 알려진 비육돈이 대부분 사육되고 있었다.

돈사에서 발생하는 분뇨가 직접적으로 돈사 하부의 slurry pit로 모이게 되어 있고 slurry pit의 분뇨 배출라인과 분뇨처리장이 연결되어 있어 분뇨발생량 측정은 현장 여건상 측정하기가 어려워 농림부에서 고시한 분뇨발생량 분뇨배출원 단위를 근거로 산출하였다.

따라서 돈사별 사육두수와 분뇨배출 원단위(농림부 고시 제2004-8호)를 근거로 산출한 분뇨 발생량 등의 사육현황을 Table 3.13에 나타내었다.

A 돈사에는 태어난 지 120일 정도 자란 비육돈 430두가 사육되고 있어 발생하는 분뇨는 1일 약 2.2톤 정도 발생할 것으로 추정되었으며, B 돈사에는 태어난 지 150일 정도 자란 비육돈 250두가 사육되고 있어 발생하는 분뇨는 1일 약 1.3톤정도 발생할 것으로 추정되었다.

C 돈사에는 태어난지 70 ~ 100일 정도 자란 비육돈 520두가 사육되고 있어 발생하는 분뇨는 1일 약 2.6톤 정도 발생할 것으로 추정되었다.

Table 3.13. Composition of manure treatment facility at C pig house

구 분	입돈연령(일)	사육두수	분뇨발생량(ton/day)	비 고
A 돈사	120	430	2.2	-
B 돈사	150	250	1.3	-
C 돈사	70 ~ 100	520(113)	2.6(0.6)	C 돈사(C-3돈방)

※ 분뇨 배출원단위 : 5.1 Liter/일 · 두(농림부 고시 제2004-8호)

IV. 결과 및 고찰

4.1 복합악취

복합악취는 두 가지 이상의 악취물질이 복합적으로 존재하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 악취방지법에서 부지경계선 및 악취배출구를 기준으로 규제하는 배출허용기준에 대해 복합악취를 측정하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 지정악취물질은 부지경계선에서 시료를 채취하여 배출허용기준에 대해 판단하게 되어 있으나 본 연구에서는 악취발생원을 파악하고 원인을 규명하여 악취를 저감시키고자 양돈축사에서 악취 발생률이 많은 돈사 내부 중앙통로 부분의 바닥에서 양돈의 호흡위치인 약 50cm 지점에서 복합악취 및 지정악취물질의 시료를 채취하여 각 시설별로 비교하였다.

양돈축사에서 배출하는 악취는 사육형태, 사육두수, 환기방식, slurry pit의 분뇨체거간 및 제거주기 등의 여러 가지 조건에 의해 물질이나 농도가 상이하게 발생하였다. 양돈축사의 분뇨처리시설에서 악취 악취발생원은 주로 분뇨에 의한 것으로 slurry pit, 고액분리기, 퇴비화시설, 액비화 시설로 구분할 수 있다.

시료채취는 각 돈사내부의 양돈의 호흡위치와 동일한 바닥으로부터 약 50cm 위치에서 펌프 내장형의 진공흡인상자(Odor design, Korea)와 polyester aluminum bag(5ℓ, 10ℓ, Top trading, Korea)을 이용하였으며, polyester aluminum bag은 현장시료로 1회 이상 채우고 배기한 후 1ℓ/min으로 5분간 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 차광이 가능하고 온도를 조절할 수 있는 용기에 담아 실험실로 이송하여 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조 제1항 제4호에 따른 환경오염공정시험기준의 공기희석관능법(空氣稀釋官能法)을 적용하여 측정을 수행하였다.

채취한 시료를 냄새가 없는 공기로 단계적으로 희석시켜 냄새를 느낄 수 없을 때까지 최대 희석 배수로 나타내는 공기희석관능법의 복합악취 분석은 환경오염시험 기준에서 시료채취 후 48시간 이내에 이루어지도록 규정하고 있지만, 본 연구에서는 결과의 신뢰성과 정확성을 기하기 위해 시료채취 후 24시간 이내에 분석을 실시하였다.

4.1.1 돈사별 복합악취

돈사별 복합악취 평균 배출수준은 Table 4.1과 Fig. 4.1에 나타내었으며, 연구 초기에 각 돈사에서 배출하는 복합악취는 공기희석관능법의 희석배수로 동일하게 300배가 배출되는 것으로 나타났다. 하절기에 돈사내부의 온도 조절을 위해 환기량을 늘려 악취농도가 다른 계절에 비해 다소 낮게 배출되는 것으로 분석 되었으며, B와 C 돈사에 적용하고자하는 환경개선제는 연구 시작 전에는 급이나 살포를 실시하지 않았으며, 환경개선제가 각 돈사에 미치는 영향을 조사하기 위해 연구를 시작한 시점부터 급이와 살포를 실시하였다.

연구를 수행한지 약 50일이 경과한 후에 복합악취를 측정된 결과 연구대상시설 전체에서 100배 가량의 복합악취를 배출한 것으로 나타났다. 이는 여름철의 돈사 내부의 온도조절을 위해 환기량을 늘려 청정공기의 유입과 Ammonia 성분이 대체적으로 낮아져 돈사내부의 악취농도가 낮은 것으로 사료된다. 환경개선제나 분뇨순환시스템의 영향으로 복합악취의 농도가 낮아지는 원인으로서는 판단하기 어려운 것으로 사료된다.

연구 초기에는 비슷한 복합악취가 배출되는 것으로 나타났으나 약 2 ~ 3개월 정도부터는 기존방식과 유사한 A 돈사는 100 ~ 669배정도의 복합악취가 나났으며, B,C 돈사에서는 복합악취가 30 ~ 448배로 배출농도를 보였다. 이는 B,C 돈사에 각각 급이 및 살포와 급이로 인해 미생물의 활성화가 이루지고 있는 것으로 판단되며, 9월경부터는 3개의 돈사 모두 8월보다 높게 발생한 것은 외부의 온도가 내려감에 따라 환기량을 줄이고 밀폐상태를 유지하여 내부에서 발생한 악취물질이 배출되지 못해 높은 것으로 판단된다.

따라서 6개월 동안 연구를 수행한 결과 평균 A 돈사 294배, B 돈사 236배 및 C 돈사 217배로 복합악취가 발생 한 것으로 측정되었으며, 기존시설과 유사한 A 돈사가 가장 높게 배출되었고, 분뇨순환 돈사에 환경개선제를 급이와 살포를 실시한 C 돈사가 가장 낮은 복합악취를 배출한 것으로 나타났으며, 모든 돈사에서 악취관리 이외지역의 배출허용기준인 500배 이하로 나타났다.

연구가 수행된 돈사별 복합악취 배출특성은 하절기에 공통적으로 낮아졌으며, 저온기로 진입되는 9월부터 다소 높아지는 경향으로 나타났는데, 이러한 배출 특성은 하절기에는 환기량이 최대로 운전되고 저온기로 갈수록 환기량 감소로 악취물질이 돈사내부에 체류되는 양이 많아진 요인으로 추정된다.

Table 4.1. Emission degree of mixture odor at each pig house
 (for measuring date)

Unit : 배

구 분	복합악취					평균
	6.3	7.24	8.27	9.9	11.25	
A 돈사	300	100	100	669	300	294
B 돈사	300	100	30	448	300	236
C 돈사	300	100	30	448	208	217

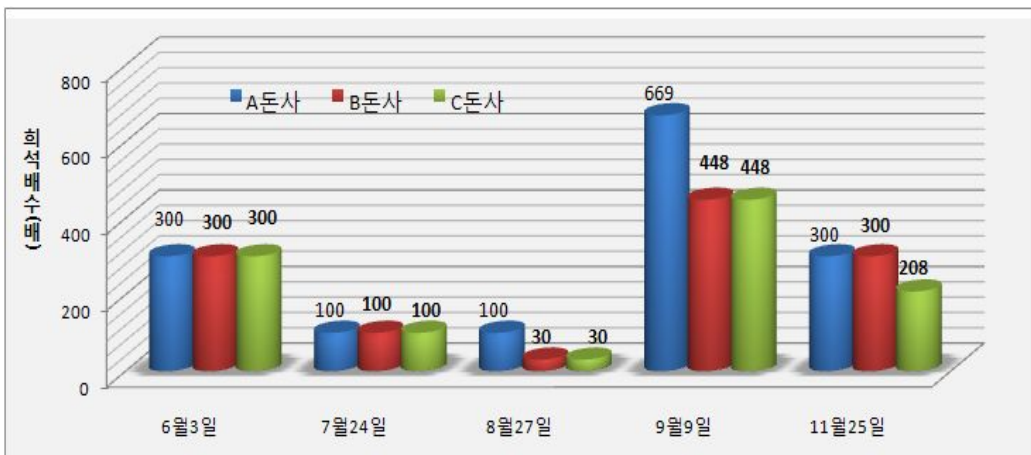


Fig. 4.1. Emission distribution of mixture odor from each pig house.

4.1.2 일반 돈사와 비교

비교대상 시설인 일반 돈사에서 사육되는 양돈의 종류는 비육돈으로 연구대상시설에서 사육하고 있는 종류와 동일한 종류의 양돈축사를 선정하였으며, 돈사의 형식도 무창 돈사 및 개방돈사로 돈사형식이 유사한 시설과 분뇨 저장방식도 slot구조에 slurry pit방식으로 처리하는 유사한 방식의 양돈축사를 선정하여 비교하였다.

Table 4.2, Fig. 4.2와 같이 연구대상시설에서 배출한 복합악취와 일반사업장에서 발생하는 복합악취의 비교자료를 나타내었다.

연구대상 시설과 일반사업장의 양돈시설에서 발생하는 복합악취를 비교한 결과, 연구대상 시설이 비교적 낮은 배출량을 보인 것으로 나타났다,

연구대상 돈사별로 발생하는 복합악취 배출농도를 비교할 경우 A, B 돈사는 일반사업장과 사육방식이 비슷한 조건으로 배출수준은 일반 사업장보다 낮은 것으로 평가되었다. 일반사업장의 개방돈사는 악취의 환기나 확산이 무창 돈사에 비해 원활하게 이루어져 복합악취의 희석배수가 낮게 나타났고, 환기나 확산이 원활하지 못한 무창 돈사는 높게 나타난 것으로 사료된다. 연구대상시설 전체가 일반사업장에 비해 복합악취가 50 %정도 낮게 발생하는 것으로 조사되었다.

일반적으로 대부분의 양돈축사에서는 종류와 성상은 다르지만 환경개선제를 사용하고 있는 것으로 조사되었으며, 비교 대상의 일반농가에서도 환경개선제를 사용한 것으로 조사되었다.

C 돈사는 분뇨처리 방식이 순환방식으로 일반사업장과 분뇨처리 방식이 상이하나 복합악취가 가장 낮은 농도를 나타냈다. C 돈사에서 평균적으로 복합악취가 낮은 사유는 분뇨처리시설에서 순환되는 처리수에 환경개선제에 함유된 미생물이 활성화되어 유기물의 분해 작용으로 인한 것으로 판단된다.

Table 4.2. Emission degree of mixture odor at each pig house

구 분	연구시설			일반사업장		비고
	A 돈사	B 돈사	C 돈사	무창돈사	개방돈사	
복합악취(배)	294	236	217	514	434	바닥조건: 슬러리 돈사
모집단 수	5	5	5	5	16	

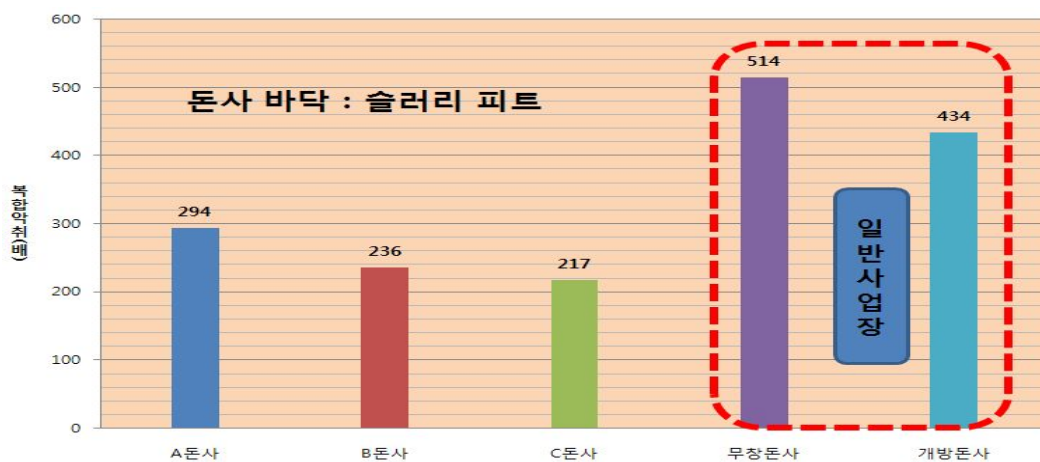


Fig. 4.2. Emission tendency of mixture odor from each pig house.

4.2 지정악취물질 측정결과

4.2.1 Ammonia

지정악취물질 중 Ammonia의 평균농도는 Table 4.3과 Fig. 4.3에 나타난 바와 같이 A 돈사 15.2 ppm, B 돈사 14.1 ppm, C 돈사 5.1 ppm으로 C 돈사에서 가장 낮은 수준으로 조사되었다.

Ammonia의 배출특성은 복합악취와 비슷한 패턴을 보이고 있으며, 미생물체의 급이 및 순환여부에 따라 발생농도의 차이가 있는 것으로 조사되었다. 또한, 악취물질이 돈사내부에 체류될 수 있는 변수는 환기량에 따라 고온기보다 저온기로 진입될수록 높아지는 경향으로 나타났다. 이는 사육되는 양돈의 생육에 절대적으로 필요한 적정 온도의 유지를 위해 고온기에는 환기량을 높여 온도를 낮추고 저온기에는 환기량을 낮추어 온도를 유지시키기 때문인 것으로 연구대상 시설이 실제 운영 중인 축사에서 이루어져 인위적으로 조건을 형성하기가 곤란하여 나타난 현상이다.

양돈의 피해증세와 관련하여 모든 돈사에서 Ammonia의 배출 수준은 Table 2.3의 미국 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health)에서 제시하는 가이드라인보다 낮은 수준으로 나타났다.

Table 4.3. Measurement results in Ammonia for each pig house

Unit : ppm

구 분	Ammonia					평균
	측정일시(일)	6.3	7.24	8.27	9.9	
A 돈사	38.5	6.0	6.0	12.9	12.4	15.2
B 돈사	43.7	3.1	4.4	10.2	8.9	14.1
C 돈사	6.5	3.7	2.6	7.1	5.8	5.1

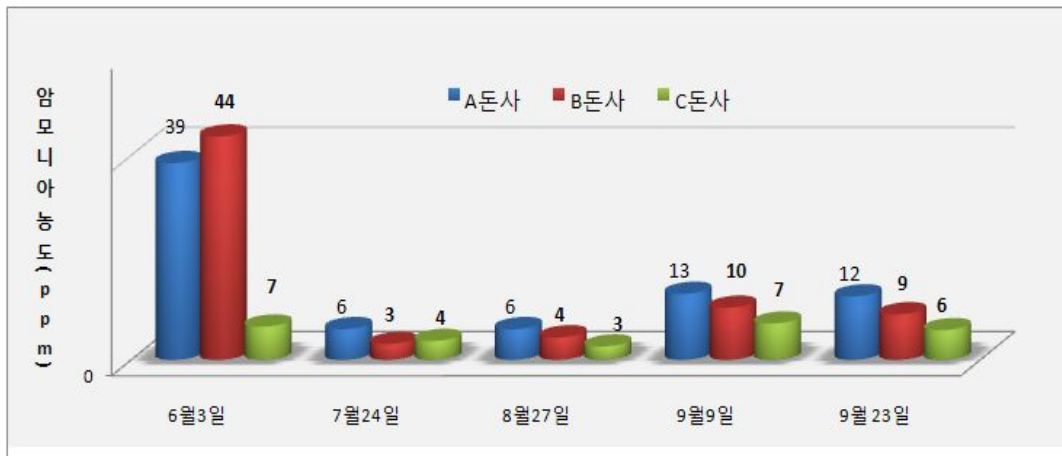


Fig. 4.3. Emission pattern of Ammonia from each pig house.

4.2.2 Hydrogen sulfide

Table 4.4와 Fig. 4.4에 돈사별 Hydrogen sulfide의 측정결과를 나타내었으며, 돈사별 Hydrogen sulfide의 평균 배출농도는 A 돈사 0.23 ppm, B 돈사 0.20 ppm, C 돈사 0.19 ppm으로 C 돈사에서 가장 낮은 수준으로 조사되었다.

배출경향은 Ammonia 및 복합악취와 비슷한 패턴을 보이고 있으며, 미생물제 급이 및 분뇨순환시스템이 적용된 C 돈사에서 가장 낮은 수준으로 조사되었으며, 돈사별 배출농도의 유의적 차이는 작은 것으로 조사되었다.

돈사에서 Ammonia 및 Hydrogen sulfide는 사료 등의 유기물과 분뇨가 부패되는 과정에서 발생하는 대표적인 악취물질로 양돈의 사육환경 관리의 중요인자로 평가되고 있다.

양돈의 피해증세와 관련하여 모든 돈사에서 Hydrogen sulfide의 배출 수준은 Table 2.3의 미국 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health)에서 제시하는 가이드라인보다 낮은 수준으로 나타났다.

Table 4.4. Measurement results of hydrogen sulfide at each pig house

Unit : ppm

구 분	Hydrogen sulfide						평균
	측정일시(일)	6.3	7.24	8.27	9.9	9.23	
A 돈사	0.00	0.01	0.14	0.54	0.33	0.37	0.23
B 돈사	0.03	0.10	0.09	0.48	0.16	0.36	0.20
C 돈사	ND	0.06	0.05	0.57	0.18	0.07	0.19

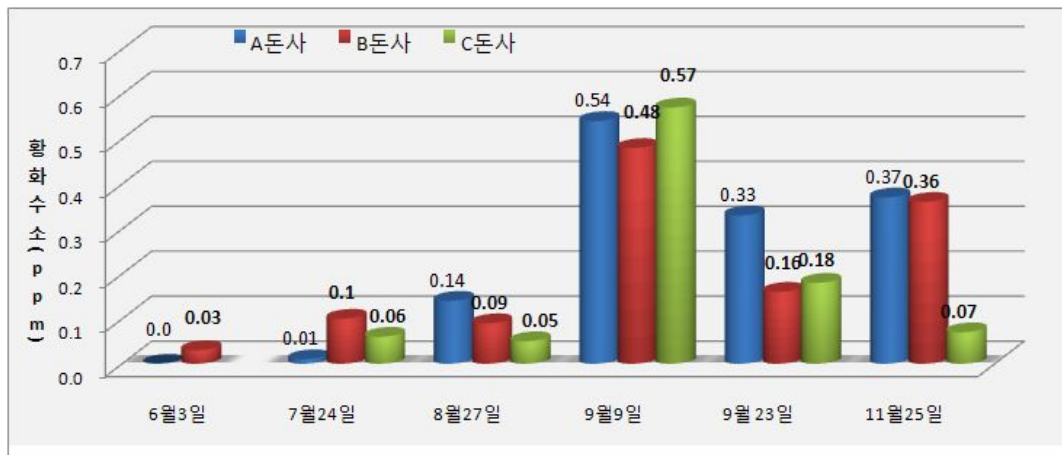


Fig. 4.4. Emission tendency of hydrogen sulfide from each pig house.

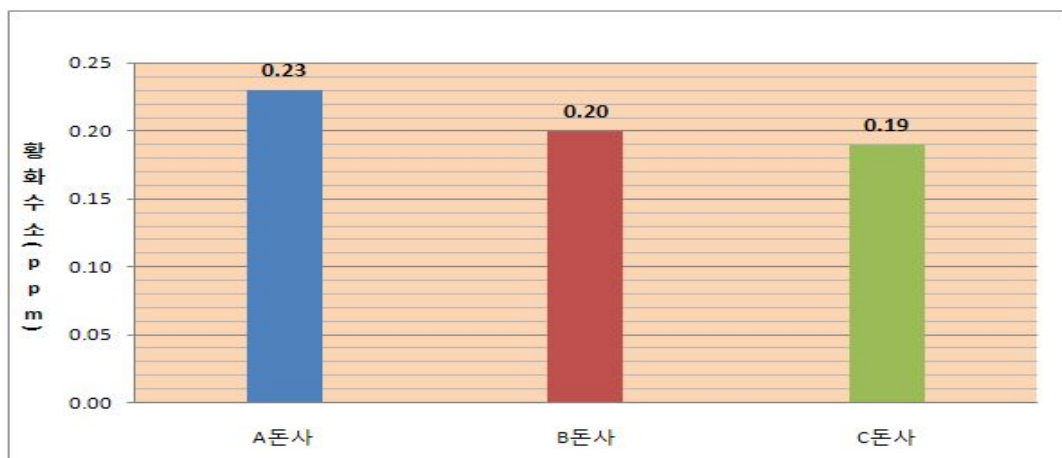


Fig. 4.5. Average concentration of hydrogen sulfide in each pig house.

4.2.3 황 화합물

지정악취물질로 규제하는 황 화합물에는 Methyl mercaptan(CH₄S), Dimethyl sulfide(DMS, (CH₃)₂S) 및 Dimethyl disulfide(DMDS, (CH₃)₂S₂)가 있으며, 축사에서 다량 발생할 경우에는 동물의 성장환경에 영향을 크게 주어 발육에 지장을 초래하는 물질로 발생을 최대한 줄여야 한다.

돈사별 황 화합물에 대한 측정결과를 Table 4.5에 나타내었다. 돈사에서 Methyl mercaptan, Dimethyl sulfide, Dimethyl disulfide는 대부분 Hydrogen sulfide와 마찬가지로 분뇨 및 유기물질이 부패되는 과정에서 배출되는데 A, B 돈사는 불검출 ~ 0.01 ppm, C 돈사는 모든 항목에서 불검출로 나타났다. 이는 돈사바닥의 돈분을 조기 제거하는 청결유지와 slurry pit의 활성상태 유지로 분뇨나 유기물 등의 부패 과정에서 발생하는 황 화합물 종류의 악취물질이 발생하지 않은 것으로 판단되며, C 돈사는 비교적 다른 돈사에 비해 양돈의 생육조건에 적합한 환경이 조성된 것으로 판단된다.

Table 4.5. Measurement results of sulfur compounds at each pig house

Unit : ppm

구분 (돈사)	항목	황 화합물 측정결과					
		6.3	7.24	8.27	9.9	9.23	11.24
A	Methyl mercaptan	0.002	불검출	0.007	불검출	불검출	불검출
	Dimethyl sulfide	0.01	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
	Dimethyl disulfide	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
B	Methyl mercaptan	0.001	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
	Dimethyl sulfide	0.01	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
	Dimethyl disulfide	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
C	Methyl mercaptan	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
	Dimethyl sulfide	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
	Dimethyl disulfide	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

4.2.4 유기산

돈사별 유기산물질 측정결과와 배출경향을 Table 4.6과 Fig. 4.6에 나타내었다.

A 돈사의 유기산 종류의 악취물질은 0.00 ~ 0.65 ppm까지 발생하는 범위로 평균 Propionic acid 0.29 ppm, n-Butyric acid 0.18 ppm, n-Valeric acid 0.03 ppm 및 i-Valeric acid 0.04 ppm이 발생하여 유기산 종류가 3개의 돈사 중에 가장 높게 발생하는 것으로 나타났다.

B 돈사의 유기산 종류의 악취물질은 0.00 ~ 0.39 ppm까지 발생하는 범위로 평균 Propionic acid 0.14 ppm, n-Butyric acid 0.09 ppm, n-Valeric acid 0.02 ppm 및 i-Valeric acid 0.01 ppm이 발생하여 유기산 종류가 A 돈사에 비해 적게 발생하는 것으로 나타났다.

C 돈사의 유기산 종류는 0.00 ~ 0.351 ppm까지 다른 돈사에 비해 발생하는 범위의 폭은 작은 양상을 보였으며, 평균 Propionic acid 0.15 ppm, n-Butyric acid 0.08 ppm, n-Valeric acid 0.02 ppm 및 i-Valeric acid 0.03 ppm이 발생하여 유기산 종류가 B 돈사와 유사하게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 돈사바닥의 돈분을 조기제거하는 청결유지와 slurry pit의 활성상태 유지로 분뇨나 유기물 등의 부패 과정에서 발생하는 유기산 종류의 악취물질이 발생하지 않은 것으로 판단되며, C 돈사는 비교적 다른 돈사에 비해 황 화합물과 마찬가지로 유기산이 적게 발생하여 양돈의 성장조건에 적합한 환경이 조성 된 것으로 판단된다.

Table 4.6. Measurement results of organic acid at each pig house

Unit : ppm

구 분	항 목	유기산물질(VFAs) 측정결과					평 균
		6.3	7.24	8.27	9.23	11.24	
A 돈사	Propionic acid	0.65	0.00	0.00	0.21	0.590	0.29
	n-Butyric acid	0.39	0.00	0.00	0.11	0.398	0.18
	n-Valeric acid	0.10	0.00	0.00	0.02	0.0471	0.03
	i-Valeric acid	0.09	0.00	0.00	0.03	0.081	0.04
B 돈사	Propionic acid	0.39	0.00	0.00	0.16	0.116	0.14
	n-Butyric acid	0.26	0.00	0.00	0.07	0.096	0.09
	n-Valeric acid	0.09	0.00	0.00	0.02	0.0010	0.02
	i-Valeric acid	0.05	0.00	0.00	0.01	0.013	0.01
C 돈사	Propionic acid	0.23	0.00	0.09	0.09	0.351	0.15
	n-Butyric acid	0.12	0.00	0.00	0.00	0.263	0.08
	n-Valeric acid	0.04	0.00	0.00	0.00	0.0418	0.02
	i-Valeric acid	0.06	0.00	0.01	0.01	0.051	0.03

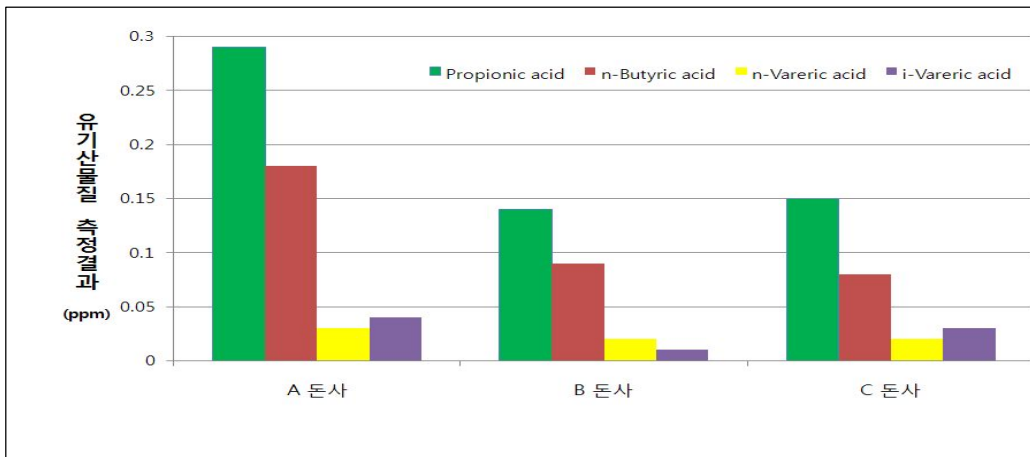


Fig. 4.6. Emission tendency of volatile fatty acids(VFAs) from each pig house.

4.3 악취물질 발생경향

4.3.1 Ammonia

돈사에서 발생하는 Ammonia의 배출경향을 파악하기 위해 자동측정 장비로 측정한 결과를 Table 4.7과 Fig. 4.7에 나타내었으며, Ammonia를 측정한 결과는 low-data를 일별 매 시간단위로 평균값을 산정하여 결과로 활용하였다.

Ammonia의 돈사별 배출농도는 A 돈사의 경우 4.6 ~ 69.7 ppm의 범위로 발생하고 평균 22.1 ppm이 발생하여 연구대상시설 중 가장 높게 발생하는 추이를 보였으며, 이는 축사 내의 분뇨slurry pit의 분뇨와 바닥의 분뇨 및 누출된 사료 등이 부패하는 과정에서 Ammonia가 지속적으로 발생하여 양돈의 생육조건에 지장을 주고 있는 것으로 판단된다.

B 돈사의 경우 7.5 ~ 47.1 ppm의 범위로 발생하고 평균 19.3 ppm이 발생하여 A 돈사와 비교 시 적게 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 축사 내의 분뇨 slurry pit의 분뇨와 바닥의 분뇨 및 누출된 사료 등이 사료에 급이한 환경개선제에 함유된 미생물의 반응이 촉진되어 Ammonia 발생률을 감소시킨 것으로 판단된다.

C 돈사의 경우 0.04 ~ 47.0 ppm의 범위로 발생하고 평균 15.0 ppm이 발생하여 연구대상시설 중에 가장 낮게 발생하는 추이를 보였으며, 이는 축사 내의 분뇨 slurry pit의 분뇨와 바닥의 분뇨 및 누출된 사료 등이 사료에 급이한 환경개선제와 slurry pit에 살포한 환경개선제에 의해 반응이 촉진되어 Ammonia 발생률을 감소시킨 것으로 판단된다. 사료 급이와 살포를 병행할 경우 악취 저감효율이 좋은 것으로 판단된다.

또한 C 돈사의 초기농도는 비교돈사 대비 낮은 농도임을 알 수 있으며, 9월에 농도가 증가되는 추세로 나타나다가 11월 초순에 다시 낮아지는 경향은 기기분석 결과와 비교적 비슷한 경향으로 파악되었는데, 이는 계절적인 요인으로 여름철에는 돈사의 적정온도를 유지하여 양돈의 성장조건을 맞추기 위해 환기량을 증가시켜 내부의 악취가 주변으로 확산되었으며, 내부의 공기가 차가워지기 시작하는 9월경부터는 환기량을 줄여 내부의 온도를 유지하는 운영조건으로 인해 악취의 농도가 높아진 것으로 나타났다.

Table 4.7. Measurement results of ammonia by automatic measuring equipment

Unit : ppm

구 분	Ammonia		
	최대배출농도	최소배출농도	평균배출농도
A 돈사	69.7	4.6	22.1
B 돈사	47.1	7.5	19.3
C 돈사	47.0	0.04	15.0

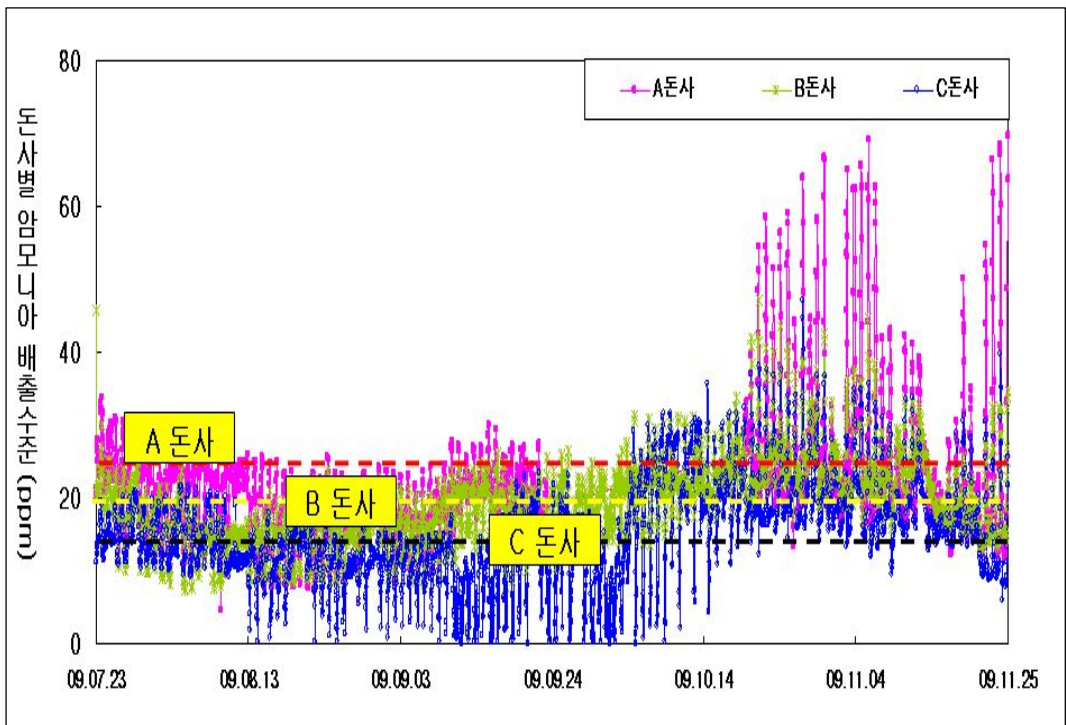


Fig. 4.7. Odor(Ammonia) monitoring results at each pig house.

4.3.2 Hydrogen sulfide

돈사에서 발생하는 Hydrogen sulfide의 배출경향을 파악하기 위해 자동측정 장비로 측정한 결과를 Table 4.8과 Fig. 4.8에 나타내었으며, Hydrogen sulfide를 측정한 결과는 Ammonia와 동일하게 low-data를 일별 매 시간단위로 평균값을 산정하여 결과로 활용하였다.

Hydrogen sulfide는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 0.00041 ppm로 매우 낮은 악취물질로 축산시설에서 낮은 농도로 발생이 되더라도 전체 악취기여도에 매우 높은 영향을 미치므로 발생을 최소화할 수 있도록 관리가 필요한 악취물질 중의 하나이다.

Hydrogen sulfide의 돈사별 배출농도는 A 돈사의 경우 0.4 ~ 2.8 ppm의 범위로 발생하고 평균 1.4 ppm이 발생하여 연구대상시설 중에 가장 높게 발생하는 추이를 보였으며, 이는 축사 내의 분뇨slurry pit의 분뇨와 바닥의 분뇨 및 누출된 사료 등이 부패하는 과정에서 Ammonia와 동일하게 Hydrogen sulfide가 지속적으로 발생하여 양돈의 성장조건에 지장을 주고 있는 것으로 판단되며, 최소감지농도가 낮아 전체 악취발생률을 높이는데 영향이 큰 것으로 나타났다.

B 돈사의 경우 0.1 ~ 2.4 ppm의 범위로 발생하고 평균 0.9 ppm이 발생하여 A 돈사와 비교 시 적게 발생하는 것으로 나타났으나 최소감지농도가 낮아 A 돈사와 마찬가지로 전체 악취발생률을 높이는데 영향이 큰 것으로 나타났다.

C 돈사의 경우 0.3 ~ 2.5 ppm의 범위로 발생하고 평균 0.7 ppm이 발생하여 연구대상시설 중에 Ammonia와 마찬가지로 가장 낮게 발생하는 추이를 보였으며, 이는 축사 내의 분뇨slurry pit의 분뇨와 바닥의 분뇨 및 누출된 사료 등이 사료에 급이한 환경개선제와 slurry pit에 살포한 환경개선제에 의해 반응이 촉진되어 Hydrogen sulfide 발생률을 감소시킨 것으로 판단된다. 따라서 사료 급이와 살포를 병행할 경우 악취 저감효율이 좋은 것으로 판단된다.

최저배출농도는 B 돈사, 평균배출농도는 C 돈사가 가장 낮은 것으로 조사되었다. Fig. 4.8과 같이 배출경향은 A 돈사는 후반기로 갈수록 배출농도가 점진적으로 높아졌으며, 배출농도의 범위도 커짐을 알 수 있고, B 돈사는 A 돈사와 유사한 경향으로 조사되었다. C 돈사는 비교돈사 중 가장 낮은 수준을 나타내었다.

Table 4.8. Measurement results of hydrogen sulfide by automatic measuring equipment

Unit : ppm

구 분	화화수소 (ppm)		
	최대배출농도	최소배출농도	평균배출농도
A 돈사	2.8	0.4	1.4
B 돈사	2.4	0.1	0.9
C 돈사	2.5	0.3	0.7

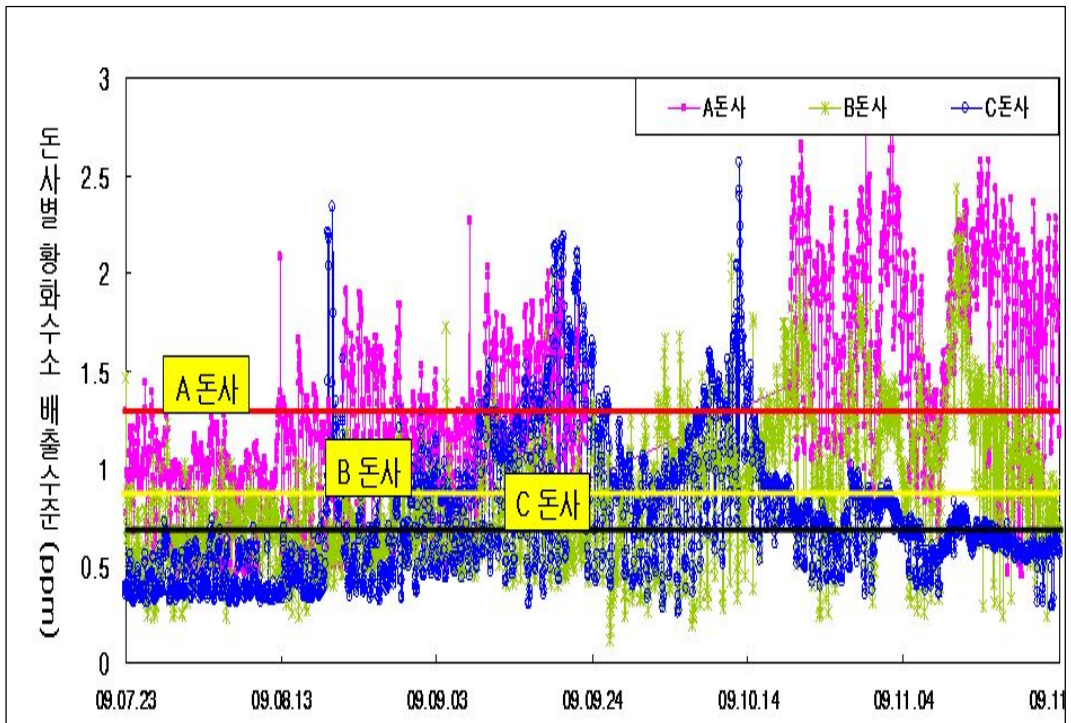


Fig. 4.8. Odor(Hydrogen sulfide) monitoring results at each pig house.

4.4 환경개선제

4.4.1 주요 미생물

본 연구에 B와 C 돈사에 급이와 살포에 사용된 환경개선제에 함유한 미생물의 종류는 80여종이 있으나 Table 4.9에 환경개선제의 주요 미생물의 개체수를 분석한 결과이다.

B, C 돈사의 사료에 급이 용으로 이용한 분말의 환경개선제를 50배 정도 희석하여 액상으로 제조하여 C 돈사의 순환분뇨처리시설에 살포용으로 사용하였으며, 환경개선제에는 분원성 대장균군은 함유되지 않은 것으로 분석되었다.

Table 4.9. Analysis results of the microorganism in cultivation

unit : CFU/mL(g)

미생물제 구분	결 과	
	액상 미생물제	분말 미생물제
분원성 대장균군	NE	NE
<i>Bacillus subtilis</i>	5.1E+06	4.7E+06
<i>Bacillus coagulans</i>	1.9E+06	5.0E+06
<i>Bacillus cereus</i>	7.0E+03	1.3E+04
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	3.5E+07	6.0E+07

- NE : Non experimented

4.4.2 주요 미생물의 개체 수

Table 4.10은 3개 돈사의 분뇨 중 주요 미생물에 대한 개체수를 평가한 것이다. 처리방식이 동일한 A 및 B 돈사와 처리방식이 상이한 C 돈사를 대상으로 8월에서 11월 동안 총 3회에 걸쳐 8종의 주요 미생물의 개체수를 분석하였다.

Table 4.10. Analysis results of the microorganism in the manure

unit : CFU/mL(g)

항목 및 결과	결과											
분석 회차 및 일자	1차(09.8.27)				2차(09.9.23)				3차(09.11.25)			
돈사 구분	A 돈사	B 돈사	C 돈사 (배출)	C 돈사 (유입)	A 돈사	B 돈사	C 돈사 (배출)	C 돈사 (유입)	A 돈사	B 돈사	C 돈사 (배출)	C 돈사 (유입)
시료채취 지점	slurry pit		돈사 배출구	돈사 유입수	slurry pit		돈사 배출구	돈사 유입수	slurry pit		돈사 배출구	-
분원성 대장균군	1.5E+05	4.3E+05	4.3E+05	4.3E+05	4.3E+05	7.5E+05	4.3E+05	7.5E+05	9.3E+05	2.3E+05	2.3E+05	시료채취안함
<i>Enterococcus faecalis</i>	3.0E+03	5.0E+02	2.0E+02	2.0E+00	3.6E+04	1.7E+04	1.3E+04	1.2E+02	-	-	-	
<i>Bacillus subtilis</i>	8.0E+03	5.2E+03	5.0E+02	1.9E+01	1.3E+05	7.0E+04	6.7E+04	6.5E+04	5.0E+05	4.9E+05	7.0E+05	
<i>Bacillus coagulans</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.0E+05	3.0E+05	1.0E+05	
<i>Bacillus thuringiensis</i>	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-	-	
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4E+05	2.0E+05	4.0E+04	
<i>saccharomyces erevisiae</i>	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.6E+06	2.8E+06	3.4E+05	

- ND : Non Detected

실험 결과 1, 2차에서 분원성 대장균군, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus subtilis*가 검출되었다. 그리고 3차에서는 분원성 대장균군, *Bacillus subtilis*, *Bacillus coagulans* 등이 검출되었다. 2차의 실험결과에서는 A 돈사보다 B 돈사에서 미생물의 활성이 다소 높게 나타나고 있었으며, 특히 C 돈사에서는 유입된 2종의 미생물인 *Enterococcus faecalis*와 *Bacillus subtilis*가 배출구에서 높은 활성도를 보이고 있음을 확인하였다. 이 결과는 개선된 C 돈사의 분뇨순환처리방식과 추가적으로 미생물을 이용한 환경개선제의 급이로 인한 것으로 판단된다.

하지만 현장에서의 실험여건을 고려한 제한된 자료로서 특정 미생물의 급여 조건이나 미생물과 악취제거조건과의 상관성을 파악하기는 부족함을 알 수 있다. 따라서 향후, 주기적인 반복 실험을 통해 C 돈사와 같은 개선된 순환처리방식에서 어떤 미생물을 이용하는 것이 악취제거에 도움이 되는가를 밝혀내는 것도 중요하다고 판단된다.

4.5 분뇨수질 측정결과

4.5.1 일반현황

돈사에서 배출되는 분뇨는 양돈축사의 대표적인 악취발생원으로 작용되고 있다. 분뇨의 부패 및 제거하는 과정에서 인위적인 교반, 고액분리 등은 악취발생을 증가시키는 중요한 행위로 가급적 분뇨가 부패되기 전에 다음 작업이 이루어질 경우 현재보다 악취발생이 저감될 것으로 사료된다.

가. 양돈분뇨 폭기 및 교반

Table 4.11에 돈 분뇨의 고액분리를 하지 않고 6개월 정도 폭기와 교반을 실시할 경우의 각종 수질에 대한 성분변화에 대한 상태를 나타내었으며, 이러한 경우 저장기간이 경과함에 따라 pH는 초기 7.59에서 8.42로 상승하는 것으로 나타났으며, 점도는 66.0 mpa.s에서 38.2 mpa.s로 감소하였다. 돈 분뇨 중 수분함량은 94.3 %에서 95.1 %로 증가하였으나 증가폭이 적어 수분에 대한 변화는 없는 것으로 나타났다. 오염성분인 유기물은 폭기 및 교반에 의해 4.2 %에서 2.5 %로 많은 양의 유기물이 분해되는 것으로 나타났으며, BOD₅는 26,275 mg/L에서 22,875 mg/L로, COD_{Mn}는 18,942 mg/L에서 14,528 mg/L로, SS는 33,000 mg/L에서 28,000 mg/L로 낮아진 것으로 나타났다, 또한 비료성분인 N와 P₂O₅의 함량은 각각 0.41 %에서 0.35 %로 감소하는 것으로 나타났다.

Table 4.11. Changes of pig manure components after aeration and stirring (without liquid and solid separation).

구분	pH	수분함량 (%)	점도 (mpa.s)	유기물 (%)	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS (mg/L)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)
초기	7.59	94.3	66.0	4.2	26,275	18,942	33,000	0.41	0.41
1개월 후	7.4	95.3	63.0	3.9	23,067	19,067	38,500	0.43	0.40
2개월 후	8.0	93.9	60.3	4.1	31,101	20,407	43,333	0.50	0.52
3개월 후	7.82	94.2	72.0	3.4	24,345	17,351	40,000	0.63	0.51
4개월 후	8.75	94.6	34.2	3.2	22,069	14,624	26,000	0.44	0.35
5개월 후	8.69	95.3	43.2	2.7	23,489	16,429	31,000	0.38	0.37
6개월 후	8.42	95.1	38.2	2.5	22,875	14,528	28,000	0.35	0.35

나. 양돈분뇨 고액분리 후 폭기 및 교반

Table 4.12에 돈 분뇨의 고액분리를 수행할 경우의 폭기 및 교반 시 성분변화를 나타내었으며, 이러한 경우 저장기간이 경과함에 따라 pH는 고액분리 전(前) 7.49에서 8.13으로, 분뇨 중의 수분함량은 92 %에서 97.4 %로 상승하는 것으로 나타났으며, 점도는 155 mpa.s에서 22.8 mpa.s로 감소하였다. 오염성분인 유기물은 폭기 및 교반에 의해 4.79 %에서 1.26 %로 많은 양의 유기물이 분해되는 것으로 나타났으며, BOD₅는 32,314 mg/L에서 12,876 mg/L로, COD_{Mn}는 21,424 mg/L에서 10,020 mg/L로, SS는 49,000 mg/L에서 12,000 mg/L로 낮아진 것으로 나타났다, 또한 비료성분인 N의 함량은 0.67 %에서 0.44 %로, P₂O₅의 함량은 0.47 %에서 0.27 %로 감소하는 것으로 나타났다.

Table 4.12. Changes of pig manure components after aeration and stirring (with liquid and solid separation).

구분	pH	수분함량	점도	유기물	BOD ₅	COD _{Mn}	SS	N	P ₂ O ₅
		%	mpa.s	%	mg/L	mg/L	mg/L	%	%
고액분리前	7.49	92	155	4.79	32,314	21,424	49,000	0.67	0.47
초기	7.90	95.4	27.8	2.35	23,394	13,687	23,000	0.54	0.25
1개월 후	8.09	95.7	25.3	2.39	21,975	12,446	21,500	0.51	0.35
2개월 후	8.03	96.5	21.0	1.96	16,933	10,168	19,300	0.56	0.25
3개월 후	8.13	96.1	36.5	2.21	10,615	14,905	27,333	0.66	0.42
4개월 후	8.04	96.1	28.0	1.90	9,754	12,881	22,833	0.32	0.42
5개월 후	8.17	97.3	22.3	1.40	12,550	12,227	15,000	0.33	0.33
6개월 후	8.13	97.4	22.8	1.26	12,876	10,020	12,000	0.44	0.27

4.5.2 수질 분석결과

가. 분석결과

돈사별 수질분석결과를 Table 4.13에 나타내었다. 돈사별로 채취된 양돈 분뇨는 s-BOD, n-BOD, T-N, 질산성질소, 대장균군, 일반세균 등에 대하여 분석을 수행하였다.

Table 4.13. Analysis results of water quality(manure) at pig house

돈사구분	측정 횟수	분 석 결 과						
		s-BOD (mg/L)	n-BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	질산성질소 (mg/L)	대장균군 (마리/ml)	일반세균 (CFU/ml)	
A 돈사	1차	20,193	270	4,620	1.2	1,300	1,700,000	
	2차	22,770	3,210	5,250	4.8	1,500	120,000	
	3차	23,700	780	7,044	5.5	71,000	1,300,000	
	평균	22,221	1,420	5,638	3.8	26,466	1,040,000	
B 돈사	1차	18,263	270	4,934	2.0	26,000	1,300,000	
	2차	23,670	2,760	4,572	4.4	14,000	36,000,000	
	3차	30,150	200	9,396	5.3	55,000	1,160,000	
	평균	24,027	1,076	6,300	3.9	31,666	12,820,000	
C 돈사	배출수	1차	3,340	169.0	1,312	3.5	800	1,200,000
		2차	4,070	450	3000	4.9	3,800	1,500,000
		3차	1,818	256	2,886	5.6	8,000	790,000
		평균	3,076	291	2,399	4.7	4,200	1,163,333
	유입수	1차	257	40.5	774	5.4	140	61,000
		2차	6,510	62.2	2,334	4.3	740	8,200
		3차	228	45	1,698	4.9	1,200	500,000
		평균	2,331	49	1,602	4.9	693	189,733

나. 돈사별 오염물질 배출경향

(1) 용해성 생물학적 산소요구량

Table 4.14와 Fig. 4.9에 돈사별 용해성 생물학적 산소요구량(s-BOD)의 농도를 나타내었다. s-BOD 이 분뇨의 순환시스템이 적용되지 않은 A 및 B 돈사에서는 각각 평균 22,221 mg/L와 24,027 mg/L가 발생하여 A와 B의 돈사에서 모두 높은 오염도를 보였다. s-BOD는 미생물에 의해 쉽게 분해되고 분해과정에서 환경조건에 따라 악취물질이 발생하는데, A와 B의 돈사에서는 s-BOD 이 높아 악취의 발생률이 높은 것으로 판단되며, 농도가 높을수록 유사조건에서는 악취발생 가능성이 커질 것으로 추정되어 진다.

분뇨의 순환처리시스템이 적용되는 C 돈사에서는 s-BOD 이 A와 B의 돈사보다 낮은 농도가 발생한 것으로 나타났다. C 돈사 배출수와 유입수에서 각각 평균 3,076 mg/L와 2,331 mg/L로 분뇨처리시설에서 약 25 %의 처리효율이 있는 것으로 나타났다. C 돈사의 s-BOD 배출경향은 A, B 돈사의 평균 s-BOD 농도에 비하여 약 7 ~ 8 배 낮은 농도로 측정 되었으며, 분뇨의 처리수가 순환되고 환경개선제의 혼합 급이 및 살포가 이루어진 C 돈사에서 s-BOD가 가장 낮게 측정되어 악취발생 가능성이 낮아질 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 오염물질이 다량 존재하는 A와 B의 돈사에서는 유기물질 등이 분해하거나 부패할 수 있는 가능성이 높아 악취의 발생 가능성이 높은 반면 C 돈사에서는 A와 B의 돈사에 비해 상대적으로 오염물질을 적게 함유하고 있어 악취의 발생 가능성을 줄인 것으로 나타났다.

Table 4.14. Emission results of s-BOD at each pig house

Unit : mg/L

돈사구분		s-BOD			평균
		1차	2차	3차	
A 돈사		20,193	22,770	23,700	22,221
B 돈사		18,263	23,670	30,150	24,027
C 돈사	돈사배출수	3,340	4,070	1,818	3,076
	돈사유입수	257	6,510	228	2,331

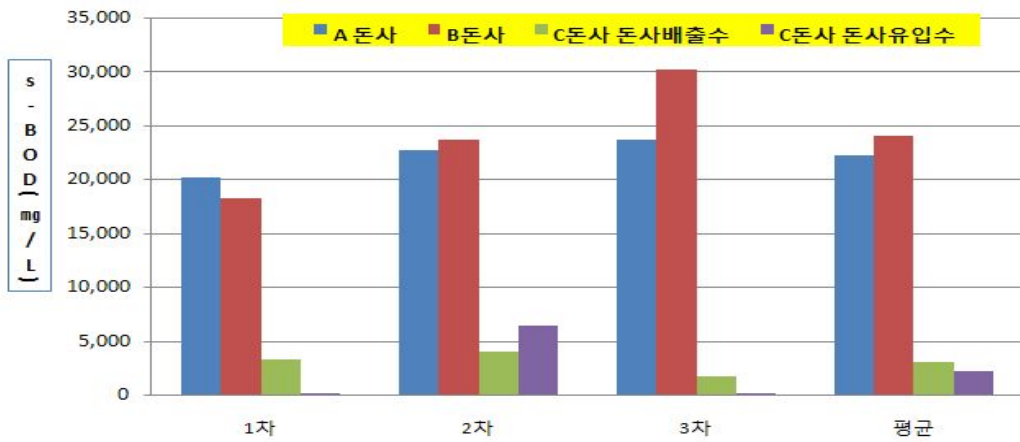


Fig. 4.9. Emission tendency of s-BOD in pig house manure.

(2) 난분해성 생물학적 산소요구량

Table 4.15와 Fig. 4.10에 각 돈사별 난분해성 생물학적 산소요구량(n-BOD)의 농도에 대해 측정한 결과를 나타냈는데 A와 B 돈사에서는 각각 평균 1,420 mg/L와 1,076 mg/L가 발생하여 용해성 생물학적 산소요구량(s-BOD)과 동일하게 분뇨의 순환시스템이 적용되지 않은 A와 B의 돈사에서 높은 오염도를 보였다.

n-BOD는 미생물에 의해 분해되기 어려운 난분해성 물질로, 농도에 따른 악취발생 가능성은 크지 않은 물질이나 s-BOD 이 높아 악취의 발생율은 높을 것으로 사료된다.

C 돈사의 분뇨 순환처리시설에서는 n-BOD가 A와 B의 돈사보다 낮은 농도가 발생한 것으로 나타났는데, 돈사 배출수에서는 291 mg/L, 돈사 유입수에서는 49 mg/L로 처리시설에서 어떠한 분해기작에 의해 배출수 대비 유입수에서 약 84 %정도 감소된 것으로 나타났다. C 돈사의 s-BOD 배출경향은 A, B 돈사의 평균 농도에 비하여 약 7 ~ 8배 낮은 농도로 n-BOD와 유사하게 측정되었다.

Table 4.15. Emission results of n-BOD at each pig house

Unit : mg/L

돈사구분	n-BOD			평균	
	1차	2차	3차		
A 돈사	270	3,210	780	1,420	
B 돈사	270	2,760	200	1,076	
C 돈사	돈사배출수	169	450	256	291
	돈사유입수	40.5	62.2	45	49

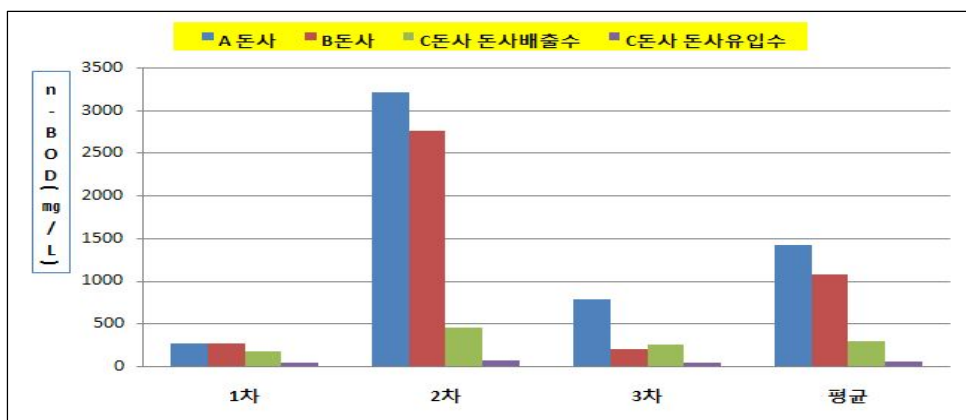


Fig. 4.10. Emission tendency of n-BOD in pig house manure.

(3) T-N

돈사에서 총 질소(T-N)는 환경조건에 따라, Ammonia, Trimethylamine 등의 질소계열 악취물질이 유발될 수 있는 물질로, T-N 농도가 높을수록 유사조건에서 악취발생가능성은 커진다.

Table 4.16과 Fig. 4.11에 돈사별 총 질소(T-N)의 농도를 나타내었으며, 분석결과 T-N농도는 A, B 돈사가 유사한 농도 수준인 각각 평균 5,638 mg/L와 6,300 mg/L를 나타내고, C 돈사의 배출수 및 유입수가 A, B 돈사와 비교할 경우 낮은 농도의 T-N농도를 보여주고 있으며, 배출수 · 유입수가 유사한 수준으로 나타났다. C 돈사의 배출수 중 평균 T-N농도는 2,399 mg/L, 유입수(최종 처리수)의 평균 T-N농도는 1,602 mg/L로 분뇨처리시설에서 배출수 대비 유입수의 T-N 제거율이 약 33 % 정도의 제거가 되는 것으로 나타났다.

C 돈사의 T-N 배출경향은 A, B 돈사의 평균 T-N 농도에 비하여 약 3배가량 낮은 농도로 측정되었으며, 분뇨의 순환과 환경개선제의 급이 및 살포가 이루어진 C 돈사에서 악취발생과 연관성이 많은 T-N이 가장 낮게 측정되어 악취발생 가능성이 낮은 것으로 사료된다.

따라서 T-N이 다량 존재하는 A와 B의 돈사에서는 Ammonia, Trimethylamine 등의 질소계열 악취물질이 유발될 수 있으며, 악취의 발생 가능성이 높은 반면 C 돈사에서는 A와 B의 돈사에 비해 상대적으로 T-N을 적게 함유하고 있어 악취의 발생 가능성이 적은 것으로 나타났다.

Table 4.16. Emission results of n-BOD at each pig house

Unit : mg/L

돈사구분		T-N			평균
		1차	2차	3차	
A 돈사		4,620	5,250	7,044	5,638
B 돈사		4,934	4,572	9,396	6,300
C 돈사	돈사배출수	1,312	3,000	2,886	2,399
	돈사유입수	774	2,335	1,698	1,602

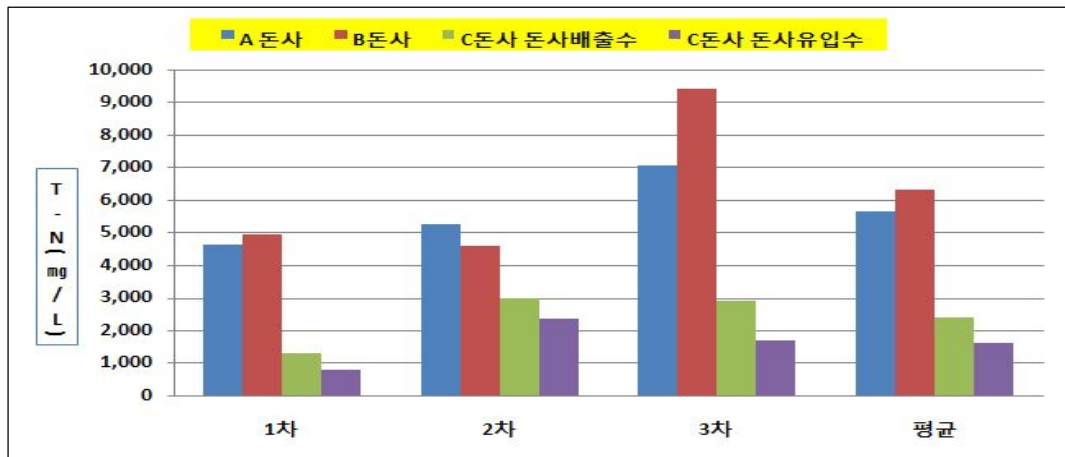


Fig. 4.11. Emission tendency of T-N in pig house manure.

(4) NO₃-N

Table 4.17과 Fig. 4.12에 돈사별 유출수의 NO₃-N 및 TKN 농도를 나타내었다.

T-N에서 질산성 질소(NO₃-N)를 제외하면 암모니아성 질소(NH₃-N)와 유기성질소(Org-N)임을 얻을 수 있다. 이를 TKN이라고 하며 흔히 TKN 농도가 높을수록 악취 발생 가능성은 증가되는데 배출농도는 유의적인 차이를 보이거나 모든 돈사에서 비슷한 경향으로 조사되었다.

A와 B 돈사 유출수의 NO₃-N와 TKN농도는 분석결과 유사한 농도 수준인 것으로 나타났다. A 돈사 유출수의 T-N과 NO₃-N가 각각 평균 5,638mg/L와 3.8mg/L가 발생하는데 T-N 농도에서 NO₃-N 농도를 제외하면 TKN 이 5,634.2mg/L인 것으로 나타났다. B 돈사의 경우에도 유출수에서 T-N과 NO₃-N가 각각 평균 6,300mg/L와 3.9mg/L가 발생하는데 T-N 농도에서 NO₃-N 농도를 제외하면 TKN이 6,296.1mg/L의 배출수준을 나타내 분뇨순환시스템이 적용된 C 돈사 보다 높은 분포의 수준을 나타냈다.

C 돈사 배출수의 T-N과 NO₃-N가 각각 평균 2,399mg/L와 4.7mg/L)가 발생하는데 T-N 농도에서 NO₃-N 농도를 제외하면 TKN이 2,394.3mg/L인 것으로 나타났으며, C 돈사 유출수의 T-N과 NO₃-N가 각각 평균 1,602mg/L와 4.9mg/L가 발생하는데 T-N 농도에서 NO₃-N 농도를 제외하면 TKN이 1,597.1mg/L의 배출수준을 나타내 분뇨순환시스템이 적용된 C 돈사에서 A와 B 돈사보다 3배가량 낮은 수준으로 나타나 C 돈사에서 악취발생가능성이 낮을 것으로 판단된다.

C 돈사의 배출수 중 TKN 평균농도는 2,394.3 mg/L, 유입수(최종처리 수)의 TKN 평균농도 1,597.1 mg/L로 분뇨순환처리시설에서 배출수 대비 유입수의 TKN 제거율은 약 33 %정도로 조사되었다.

Table 4.17. Emission results of NO₃-N and TKN at each pig house discharge water

Unit : mg/L

돈사구분	T- N	NO ₃ - N				TKN	비 고	
		1차	2차	3차	평균			
A 돈사	5,638	1.2	4.8	5.5	3.8	5,634.2	TKN = (T-N)-(NO _x -N)	
B 돈사	6,300	2.0	4.4	5.3	3.9	6,296.1		
C 돈사	배출수	2,399	3.5	4.9	5.6	4.7		2,394.3
	유입수	1,602	5.4	4.3	4.9	4.9		1,597.1

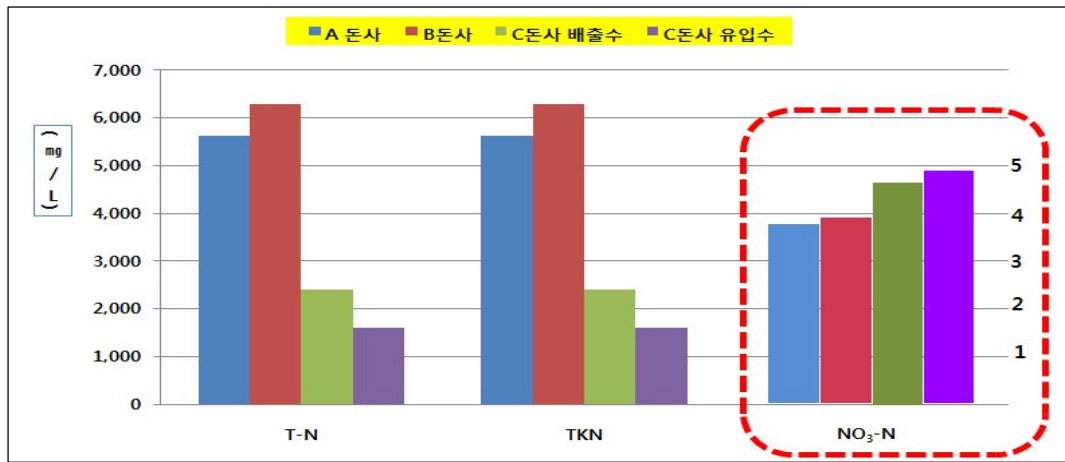


Fig. 4.12. Emission tendency of NO₃-N and TKN in pig house livestock Wastes.

(5) 대장균군 및 일반세균

대장균군과 일반세균은 호기성 및 통기성 혐기균으로, 분뇨가 부패 될수록 대장균군과 일반세균의 수는 증가하며, 악취발생 가능성은 커진다.

Table 4.18과 Fig. 4.13에 돈사별 유출수의 대장균군의 배출결과를 나타내었다.

A와 B 돈사에서 대장균군은 각각 평균 26,466마리/ml와 31,666마리/ml로 많은 양의 대장균군이 분뇨 배출수에 존재하고 있어 악취를 발생할 수 있는 가능성이 높은 것으로 나타났다, 반면에 C 돈사의 분뇨 배출수 중 평균 대장균군 마릿수는 4,200마리/mg l , C 돈사 유입수의 평균 대장균군 마릿수는 693마리/mg l 로 A 및 B 돈사에 비해 현저하게 낮은 수치로 대장균군이 있는 것으로 조사되었으며, 분뇨처

리시설에서 배출수 대비 유입수의 대장균군 제거율은 약 84 %정도로 조사되었다.

이는 C 돈사의 분뇨 중 BOD, T-N 등의 농도가 타 돈사보다 낮은 것으로 나타나 환경개선제 미생물의 활성상태로 대장균군의 증식이 억제된 것으로 판단된다.

Table 4.18. Emission results of colon bacillus at each pig house livestock Wastes

Unit : 마리/ml

돈사구분		대장균군			평균
		1차	2차	3차	
A 돈사		1,300	1,500	71,000	26,466
B 돈사		26,000	14,000	55,000	31,666
C 돈사	돈사배출수	800	3,800	8,000	4,200
	돈사유입수	140	740	1,200	693

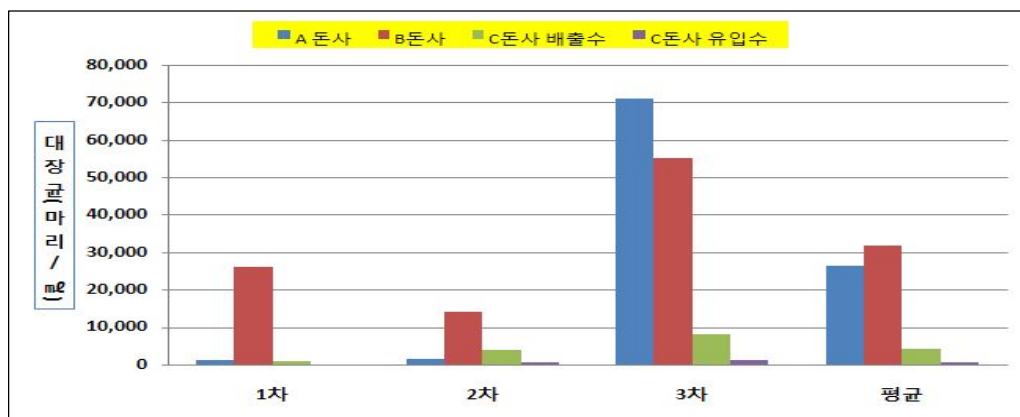


Fig. 4.13. Emission tendency of colon bacillus in pig house manure.

Table 4.19와 Fig. 4.14에 돈사별 유출수의 대장균군 배출결과를 나타내었다. 일반세균은 A와 B 돈사에서 각각 평균 1,040,000CFU/ml와 12,820,000CFU/ml로 많은 양의 일반세균이 분뇨 배출수에 존재하고 있어 악취를 발생할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

C 돈사의 분뇨 배출수 중 평균 1,163,333CFU/ml가 분뇨처리시설로 유입되어 분뇨처리시설 배출구의 처리수에는 평균 189,733CFU/ml로 일반세균이 존재하는 것으로 조사되었으며, 분뇨처리시설에서 배출수 대비 유입수의 일반세균 제거율은 약

84 %정도로 나타났다. 이는 대장균군과 마찬가지로 C 돈사의 분뇨 중 BOD, T-N 등의 농도가 타 돈사보다 낮은 것으로 나타나 미생물의 활성상태로 일반세균의 증식이 억제된 것으로 판단된다.

Table 4.19. Emission results of general bacteria at each pig house livestock Wastes

Unit : CFU/ml

돈사구분		일반세균			평균
		1차	2차	3차	
A 돈사		1,700,000	120,000	1,300,000	1,040,000
B 돈사		1,300,000	36,000,000	1,160,000	12,820,000
C 돈사	돈사배출수	1,200,000	1,500,000	790,000	1,163,333
	돈사유입수	61,000	8,200	500,000	189,733

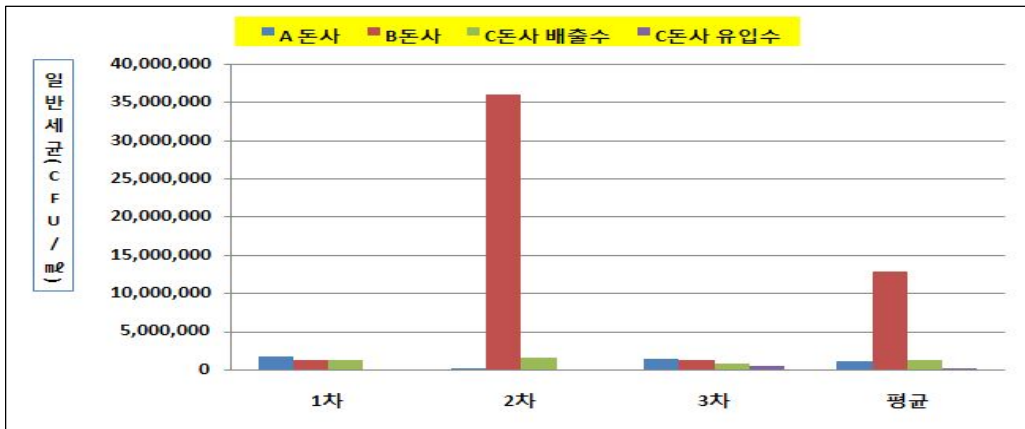


Fig. 4.14. Emission tendency of general bacteria in pig house manure.

4.6 돈사별 온 · 습도 평가

돈사의 환기는 양돈의 서식환경을 좌우하는 주요인자로 사육연령, 돈사구조, 사육두수, 계절적 요인 등에 따라 달라지며, 비육돈사의 적정 온 · 습도를 Table 4.20에 나타내었다. 돈사환기의 주요 기능을 보면, 돈사의 환기목적은 양돈에게 신선한 공기를 공급하여 사육환경을 충족시켜주고 돈사에 적체된 악취물질을 외부로 배출시키는 기능을 한다.

환기는 돈사의 온 · 습도를 조절하는 대표적인 방법으로 적정한 환기가 이루어지면 돈사 내부의 온 · 습도 및 기류가 일정수준으로 유지되어 쾌적한 환경조성으로 악취발생을 저감시킬 수 있기 때문에 환기량 차이에 따른 돈사의 악취발생량을 평가하기 위하여 돈사별 온 · 습도를 측정하였다.

돈사환기의 주요기능은 돈사에 신선한 공기를 계속 적정하게 공급하고, 고온 시 과도한 열에너지를 돈사외부로 배출시키며, 과도한 습기와 악취물질을 돈사에서 제거하기 위한 것이다.

연구대상 돈사내부의 상부(돈사바닥에서 약 2m) 및 양돈의 서식 공간(양돈체고(體高)높이 약 0.5m)에서 온 · 습도를 측정하였고, slurry pit에서 온도를 연속적으로 측정하였다. 또한 돈사 주변에 기상장비를 설치하여 돈사 내 · 외부의 온 · 습도와 비교하였다.

Table 4.20. Operation standard of temperature and humidity at fattening pig house

구분	체중범위 (kg)	온 · 습도 관리기준			비 고
		고온기	중온기	저온기	
온도(℃)	64 ~ 100	26 ~ 29	18 ~ 22	12 ~ 13	
습도(%)		50 ~ 70(상대습도)			

4.6.1 돈사의 온도관리

가. 실내온도의 기준

돈사의 실내온도(Room Temperature)는 설계온도를 기준으로 할 경우 1.6 °C 이상 높을 때와 1.6 °C 이상 낮을 고온과 저온으로 규정하고, 여름에는 외부기온 보다 1.6 °C 이상 돈사내부 온도가 높을 때를 고온으로 규정하고 낮을 때를 저온으로 규정한다.

저온현상은 돈사의 열 보전능력이 기준에 미달하거나, 기준두수가 수용되지 않은 경우, 환기량의 과다나 바람피해, 난방능력 부족이 주된 원인이며, 돈사에는 환기의 Dead zone이 생기고 온도와 습도가 동시에 높아지기도 한다. 저온현상에서의 양돈들은 스트레스 증후가 나타나고, 허둥대며 의기가 없고 구석진 곳에서 모여서 생활한다. 저온현상이 심하면 비육돈에서는 탈장현상 및 자돈에서는 설사 개체가 증가된다.

나. 계단 온도

돈사내부의 계단 온도(Stratification local Temperature)는 동일시간에 돈사 내부에서 장소별로 온도 편차가 심할 경우의 온도현상으로 기준은 장소 간 온도차이가 약 2.8 °C 이상일 때로 규정한다. 이러한 현상은 단열이 부분적으로 미흡한 돈사로 건물의 양끝 벽이나 음지쪽의 기초부분, 바닥으로 바람이 들어오는 돈사, 돈방에서 입구 크기가 일정하지 않을 때, 유난히 크게 열린 입구의 하부 등에서 나타난다.

온도가 층(層)이 나타나는 돈사는 환기의 Dead zone이 생기고 Dead zone에서 돈사 내부의 돈방별로 습한 돈방, 고온 및 저온인 돈방 등 다양한 조건들이 동일 돈사 내부의 돈방별로 나타난다.

양돈의 행동적 특징은 특정 돈방의 양돈에서만 스트레스, 불안, 거친 행동 등의 증상이 나타나고, 저온인 돈방에서는 통상적인 저온조건의 증상인 포개져서 생활하는 등의 현상이 특정 돈방에서만 나타난다. 양돈 건강상 특징은 분만돈사나 자돈사에서는 특정 돈방의 자돈들에서만 유난히 설사하는 양돈이 많이 생기고 Pneumonia, Ss/Hps/App 감염 양돈이 발생한다.

다. 일교차가 클 때의 기온

일교차가 클 때의 기온(Excessive Daily Temperature Variation)은 저온일 때 돈사내부의 일교차가 8.3 °C 이상인 경우를 기준으로 교차범위와 초과범위를 구분한다. 이러한 현상은 단열수준이 낮은 돈사에서 자연기온의 일교차가 클 때, 원치 커튼의 보온을 비닐로 시공하였을 때, 원치 커튼을 잘못 조절하였을 때, 기계식 환기에서 풍량 조절을 잘못된 경우 등의 원인으로 나타난다.

양돈들에 일반적으로 나타나는 현상은 스트레스 증상이 나타나고, 1일 사료섭취량과 증체량 저하, 호흡환경 저하 및 설사병이 나타나며 사육단계에 따라 나타나는 질병과 감염병원균은 자돈설사 Rota Virus이고, 포유자돈은 Neonatal Diarrhea이며, 비육돈은 기침, Pneumonia, Flu이다.

라. 온도편차가 심한 실내온도

온도편차가 심한 실내온도(Cycling Room Temperature)는 1시간 또는 그 이내의 시간 동안에 실내온도가 심하게 오르내리는 현상을 이와 같이 정의하며, 오르내리는 온도범위가 약 2.8 °C 이상 오르내릴 때를 기준으로 한다. 이때의 두르러진 현상은 1일 중 습도와 온도가 여러 차례 고온 및 저온의 곡선을 나타낸다.

이런 온도변화 사이클은 기계식 환기에서 주로 일어나며, 온도감지 센서가 비정상적인 작동을 하거나, 팬(On-Off방식) 작동이 가동되는 시간과 정지하는 시간이 너무 길게 설정되었을 때와 팬의 용량이 너무 큰 경우가 원인이다.

양돈의 행동증상은 1일 기온교차가 클 때와 비슷하며 건강상 증상으로는 자돈에서는 Rota Virus에 의한 설사병이 발병하며, 비육돈에서는 가을에서 겨울 동안에 꼬리를 물어뜯는 양돈이 생긴다.

4.6.2 돈사의 습도관리

Table 4.21에 나타낸 바와 같이 돈사의 습기 발생량(돈사에서 생산되는 량)은 양돈의 호흡 시 내뿜는 량, 배설물에서의 발생량, 급수기의 증발량, 바닥의 증발량, 양돈표피의 증발량 등의 합산량이며, 사육단계와 체중, 그리고 바닥방식에 따라 발생하는 양의 차이를 보면, 전면 slot 바닥은 콘크리트 바닥의 1/2, 부분 slot 바닥은 콘크리트 바닥의 약 84 % 수준으로 돈사 바닥방식에 따른 습기 생산량이 발생한다.

Table 4.21. Production of humidity by floor type

사육단계		실내온도 (℃)	돈방 바닥형식		
사육연령	체중(kg)		전면slot	부분slot	콘크리트
습기생산량			lb/일 두		
포유모돈+자돈	-	21.1	9.5	16	19
초기자돈	5.5 ~ 13.4	26.6	1.6	2.7	3.2
자 돈	13.4 ~ 34	23.8	1.9	3.2	3.8
육 성 돈	34 ~ 68	15.5	2.1	3.6	4.2
비 육 돈	68 ~ 100	15.5	2.4	4.1	4.8
임 신 돈	148	15.5	3.0	5.1	6.0
웅 돈	182	15.5	3.0	5.1	6.0

Fig.4.15에 돈사내 공기의 습도범위별 병원성 미생물 및 오염물질 농축비율을 나타내었다. 상대습도가 50 ~ 60 % 범위로 유지되면 질병의 잠재적 근원이 감소되는데 박테리아는 상대습도가 30 ~ 60 % 범위에서는 증식이 어려우며, 바이러스는 상대습도 50 ~ 70 % 범위에서는 증식이 안 되고, 곰팡이류는 상대습도 50 %에서 급격히 증식된다. 그리고 호흡기 질환에 관여하는 몇 종류의 곰팡이는 상대습도가 50 % 범위에서 성장이 매우 느리다.

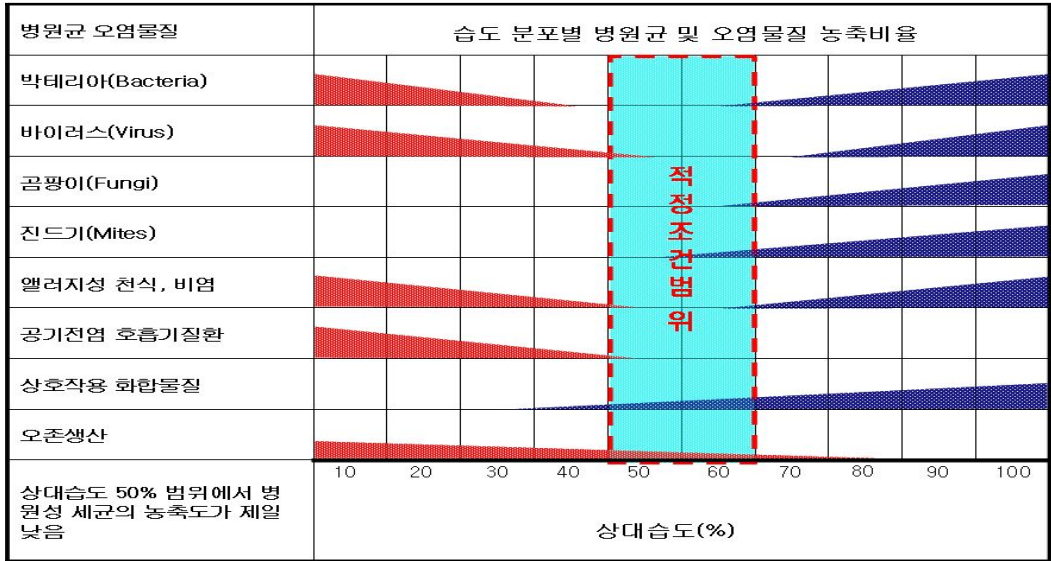


Fig. 4.15. Concentration ratio of pathogenic microorganism and pollutants in pig house air by humidity level.

4.6.3 돈사 온 · 습도 측정결과

가. 돈사 상부 온 · 습도

Table 4.16에 돈사 내부와 실외의 온 · 습도를 측정하는 장비를 사진으로 나타내었다. 돈사내부의 온도와 습도는 사육되는 양돈의 질병과 생육에 영향을 크게 주는 요소로 돈사 상부에 온 · 습도를 측정하였다.



Fig. 4.16. Temperature and humidity measurement equipment for inside and outside of pig house.

Table 4.22, Fig. 4.17, 18은 각 돈사의 온 · 습도를 측정한 자료이다. A 돈사에서 온도의 변화는 최저 22.6 °C에서 최고 30.3 °C의 범위로 평균 25.8 °C가 측정되어 3개 돈사 중에서 가장 변화폭이 적었으며, 습도는 최저 40.0 %에서 최고 82.5 %로 온도와 동일하게 변화폭이 적었으며 평균 69.1 %가 측정되었다.

B 돈사에서 온도의 변화폭은 최저 19.8 °C에서 최고 30.0 °C로 약 10 °C의 변화폭으로 평균 25.1 °C가 측정되었으며, 습도는 최저 40.0 %에서 최고 89.5 %로 평균 70.2 %가 측정되었다.

C 돈사에서 온도의 변화폭은 최저 20.4 °C에서 최고 30.9 °C로 약 10 °C의 변화폭으로 평균 27.7 °C가 측정되어 3개 돈사 중에서 가장 높은 온도의 측정결과를 보였으며, 습도는 최저 33.0 %에서 최고 82.6 %의 범위로 평균 59.6 %가 측정되었다.

3개의 돈사 중 평균적으로 온도는 가장 높았으며, 습도는 가장 낮은 농도로 있는 것으로 나타났다.

습도는 59.6 ~ 70.2 % 범위로 다소 차이를 보이는데 이는 환기량 차이에 의해 발생된 요인으로 판단된다. 돈사의 습윤 발생은 돈방 바닥의 형태, 사육두수(호흡량), 물청소, 환기방식, 환기량에 따라 달라질 수 있는데 환기량이 부족할 경우 돈사의 습도는 상승되는 경우가 대부분이다.

Table 4.22. Temperature and humidity measurement results of upper part at each pig house

항 목	구 분	돈사상부 온 · 습도 측정결과			비 고
		A 돈사	B 돈사	C 돈사	
온도(℃)	최고	30.3	30.0	30.9	
	최저	22.6	19.8	20.4	
	평균	25.8	25.1	27.7	
습도(%)	최고	82.5	89.5	82.6	
	최저	40.0	40.0	33.0	
	평균	69.1	70.2	59.6	

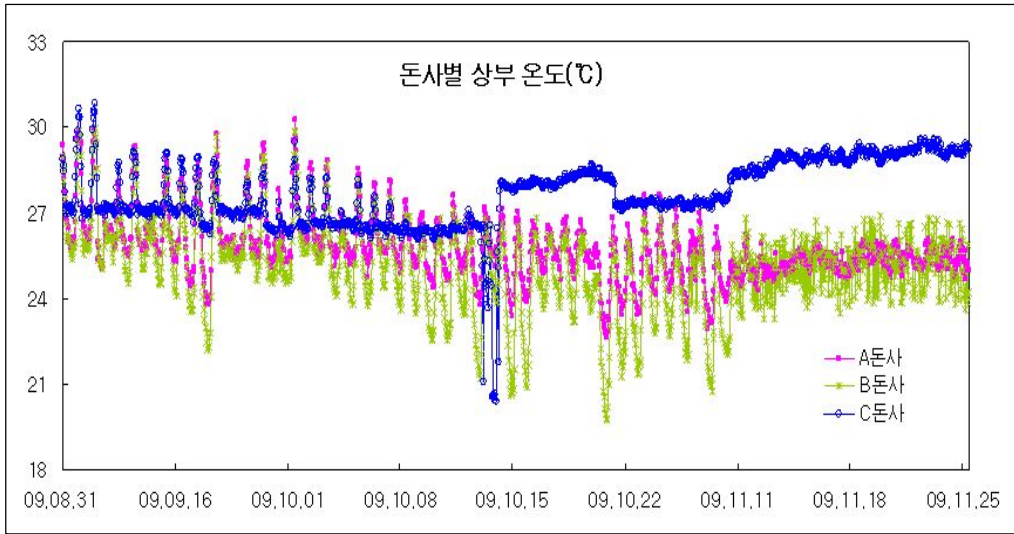


Fig. 4.17. A temperature graph of upper part at each pig house.

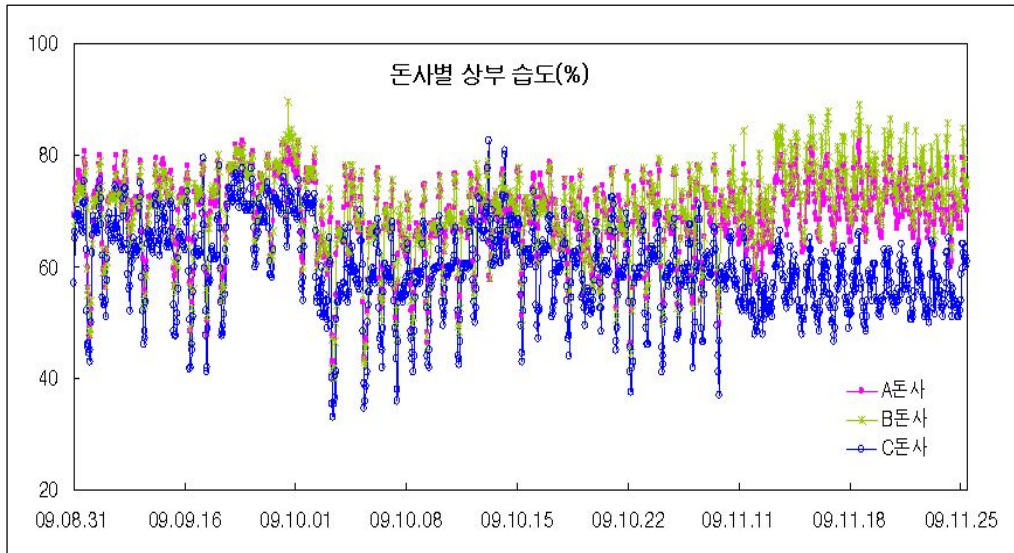


Fig. 4.18. A humidity graph of upper part at each pig house.

나. 양돈의 체고(體高) 높이 온도

돈사에서 온·습도는 양돈의 체고(體高) 높이에서의 관리가 중요하다. 양돈은 굴착성 동물로 대부분 바닥에서 1m 이하의 공간에서 생활하고 호흡한다. 서식조건은 분뇨저류조의 악취발생, 밀식사육, 일부 악취물질은 공기보다 비중이 무거워 기류흐름이 낮을 경우 악취 및 공기 중의 산소부족으로 호흡기질환 등 질병발생의 요인이 될 수 있다.

따라서 환기의 주요 목적은 온도보다는 습도가 중요하게 관리되어야 하며 적절한 습도유지는 환기가 원활하게 이루어진다는 지표로 설정해도 무방하다.

Table 4.23 및 Fig. 4.19, 20과 같이 양돈체고(體高) 높이에서의 A 돈사 온도는 최고 30.4 °C에서 최저 21.7 °C의 범위로 평균 25.8 °C로 조사되었으며, B 돈사 온도는 최고 30.3 °C에서 최저 20.8 °C의 범위로 평균 25.1 °C로 A와 B의 돈사가 유사한 온도범위와 평균값을 나타낸 것으로 조사되었다. C 돈사에서의 온도는 최고 30.8 °C에서 최저 18.4 °C의 범위로 평균 27.1 °C로 3개의 돈사 중 온도의 변화폭과 평균온도가 가장 높은 것으로 조사되었다. 모든 돈사의 온·습도 조건은 Table 4.21에 제시된 사양관리기준을 충족하는 것으로 조사되었다.

Table 4.23. Temperature and humidity measurement results of withers height at each pig house

항 목	구 분	양돈 체고(體高) 높이의 온·습도 측정결과			비 고
		A 돈사	B 돈사	C 돈사	
온도(°C)	최고	30.4	30.3	30.8	
	최저	21.7	20.8	18.4	
	평균	25.8	25.1	27.1	
습도(%)	최고	73.0	95.5	93.1	
	최저	29.2	28.3	30.1	
	평균	61.2	60.4	58.3	

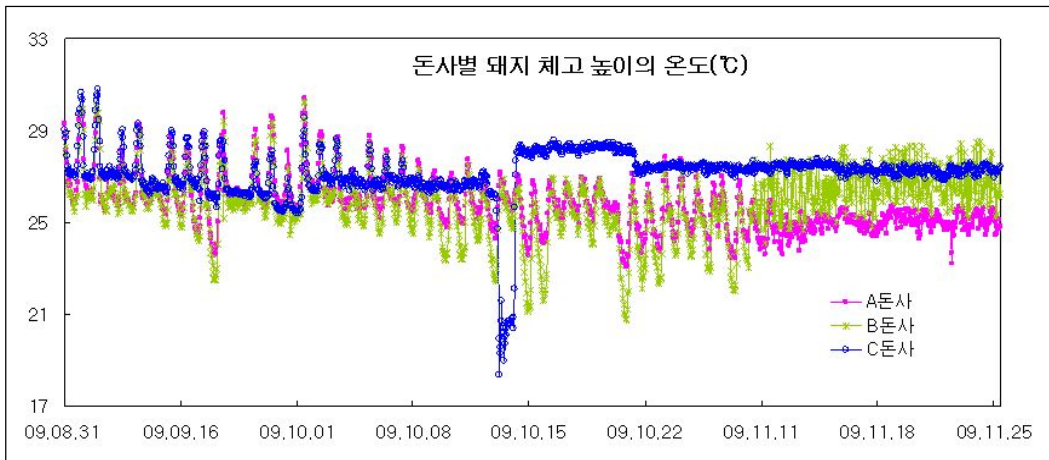


Fig. 4.19. A temperature graph of withers height at each pig house.

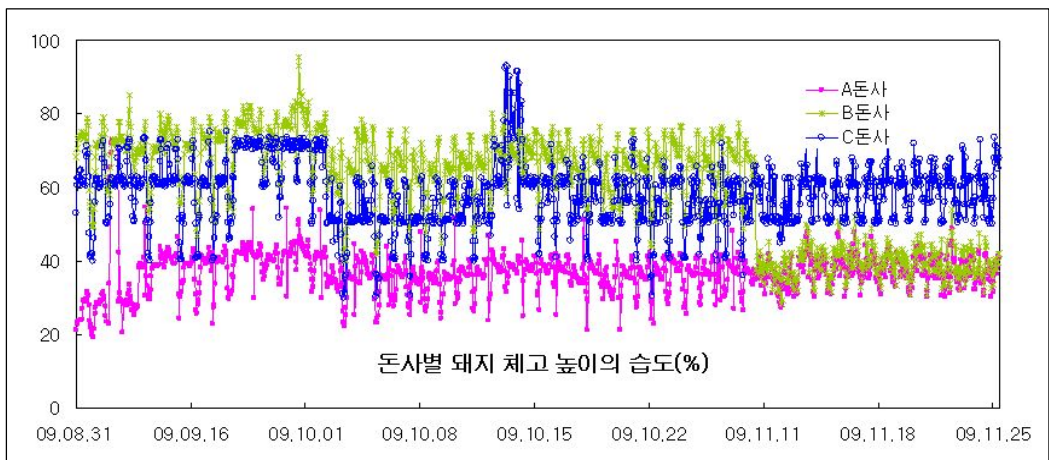


Fig. 4.20. A humidity graph of withers height at each pig house.

다. 돈사별 slurry pit 온도

돈사의 지하에 설치된 slurry pit에서 시료채취와 온·습도를 측정하기 위해 직경이 50mm의 아크릴을 이용하여 주사기 형태로 제작한 도구로 A와 B 돈사는 slurry pit 바닥에서 약 30cm 상부지점, C 돈사는 돈사를 기준으로 분뇨배출구와 돈사 유입수인 분뇨순환처리시설 최종 처리수조에서 실시하였다.

Table 4.24와 Fig. 4.21은 각 돈사별 slurry pit에서 측정한 온도결과이다.

A 돈사의 slurry pit 온도는 돈사 내부의 온도보다 약 4 °C가 낮은 최고 26.1 °C에서 최저 18.9 °C의 범위로 나타났으나 평균은 돈사내부 온도보다 약 2 °C 낮은 평균 24.0 °C로 조사되었으며, B 돈사의 slurry pit 온도는 B 돈사 내부의 온도보다 약 3 °C가 낮은 최고 27.4 °C에서 최저 18.0 °C의 범위로 나타났으나 평균은 돈사내부 온도보다 약 2 °C 낮은 평균 23.2 °C로 A와 B의 돈사가 유사한 온도 범위와 평균값을 나타낸 것으로 조사되었다. C 돈사 slurry pit 온도는 돈사내부보다 약 4 °C가량 낮은 최고 26.2 °C에서 3 °C가량 높은 21.5 °C의 범위로 평균 24.0 °C로 3개의 돈사 중 온도의 변화폭과 평균이 가장 낮은 것으로 조사되었다.

Table 4.24, Fig. 4.21과 같이 연구기간 동안 돈사별 slurry pit 온도는 모든 돈사에서 24 °C 내외로 조사되었으며, 미생물 살포 및 분뇨를 순환시킨 C 돈사 slurry pit 온도의 변화도가 가장 안정적인 것으로 조사되었다.

Table 4.24. Temperature and humidity graphs of withers height at each pig house

Unit : °C

항 목	구 분	slurry pit 온도 측정결과			비 고
		A 돈사	B 돈사	C 돈사	
온도	최대	26.1	27.4	26.2	
	최소	18.9	18.0	21.5	
	평균	24.0	23.2	24.0	

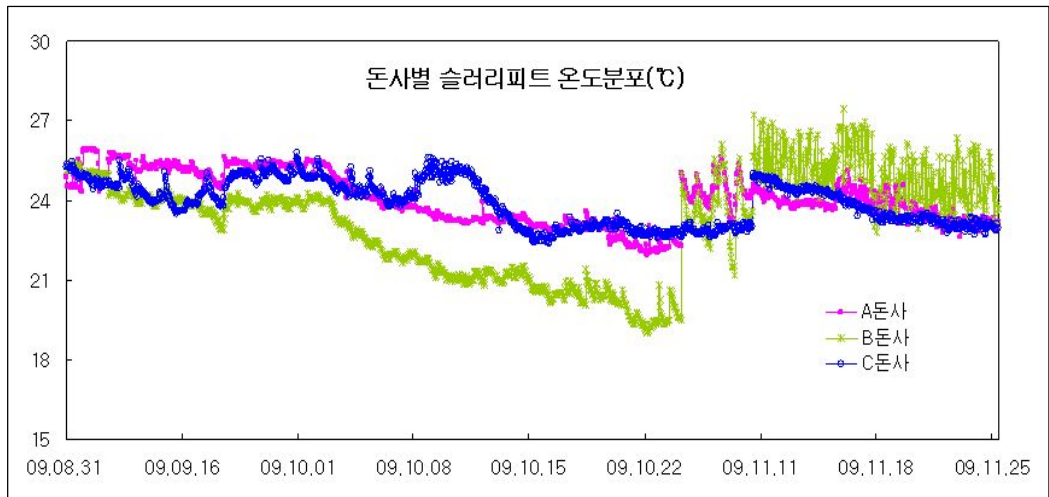


Fig. 4.21. A temperature graph of slurry pit at each pig house.

라. 돈사외부 온 · 습도

Table 4.25와 Fig. 4.22는 돈사외부에서 측정한 온도 및 습도 결과이다.

돈사환기는 외부공기가 환기구나 환기팬 등의 설비를 통해 돈사내부로 인입되며, 저온기에 외기온도가 직접적으로 전달될 경우 호흡기 질환이 발생하는 경우도 있다. 따라서 복도 등의 공간에서 외기의 낮은 온도의 공기를 예열을 한 후 돈사로 공급 하던가 급기 배관에서 공기가 흐르는 동안에 예열을 할 수 있도록 설치하여 예열공기가 돈사로 공급되어야 한다.

외기 온 · 습도 측정에 사용된 장비는 Casella(모델명 : HB3289-01, 영국)를 사용하였으며, 측정 장소는 돈사 주변 건물 옥상에 설치하여 연속적으로 측정하였다. 돈사 외부 온 · 습도 측정기간은 高온기부터 低온기인 6월25일부터 11월 25일까지 실시하였으며, 외부 온도 범위는 영하 6.2 ~ 영상 36.3 °C로 Table 4.25 및 Fig. 4.22에 나타낸 바와 같이 저온기로 갈수록 낮아짐을 알 수 있다. 외기습도는 저기압 및 강우 등 기상조건에 따라 달라지며 평균 81.1 %로 측정되었다.

Table 4.25. Temperature and humidity measurement results at outside of each pig house

구 분	온 도(℃)	습 도(%)	측정 장비	비 고
최 대	36.3	100.0	메이커 : Casella 모델명 : HB3289-01 (영국)	
최 소	-6.2	25.4		
평 균	19.1	81.1		

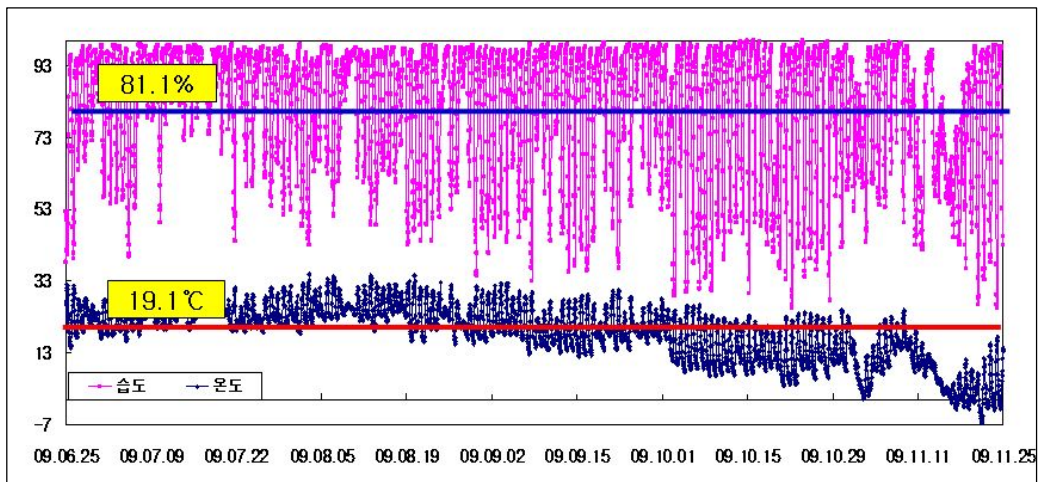


Fig. 4.22. Temperature and humidity graphs of external and internal in each pig house.

4.7 악취물질 측정결과 해석

4.7.1 돈사의 주요 악취원인물질

가. 악취 기여도

Table 4.26에 나타난 바와 같이 돈사에서 발생하는 악취물질은 Ammonia, Hydrogen sulfide, 황 화합물, 유기산 물질로 알려져 있으며, 본 연구에서 측정된 지정악취물질을 대상으로 악취물질에 대한 기여도를 평가하였다. 악취기여도 평가는 지정악취물질의 평균 배출농도를 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도로 환산하여 돈사별 배출수준 및 원인물질을 규명하였다.

Table 4.26과 Fig 4.23에 돈사 악취에 대해 영향을 주고 있는 지정악취물질을 나타냈으며, 모든 돈사에서 발생농도의 유의적 차이는 있으나 Hydrogen sulfide 및 유기산물질의 기여율이 높은 것으로 나타나 돈사의 주요 악취원인물질임을 확인할 수 있다.

Ammonia의 평균 배출범위는 8.0 ~ 18.0 ppm으로 다른 물질에 비해 높은 농도로 조사되었으며, C 돈사가 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 모든 돈사에서 악취 기여도는 0.3 ~ 0.5 % 범위로 매우 낮은 수준으로 영향을 주고 있는 것으로 조사되었는데, 이는 사람이 인지할 수 있는 최소감지농도가 1.5 ppm으로 다른 물질에 비해 높아 악취기여도에 영향을 낮게 주고 있음을 알 수 있다.

Hydrogen sulfide의 평균 배출범위가 0.186 ~ 0.2316 ppm으로 나타났으며, Ammonia와 마찬가지로 C 돈사에서 가장 낮은 배출수준을 보이고 있다. 낮은 배출농도를 보이고 있지만 최소감지농도가 0.00041 ppm으로 다른 물질에 비해 낮은 최소감지농도로 인해 악취 발생에 대한 기여율은 18.9 ~ 28.8 % 범위로 높게 나타나 모든 돈사에서 주요 악취발생물질로 평가되었다. Hydrogen sulfide의 돈사별 기여율은 A 돈사가 18.9 %로 가장 낮은 이유는 Hydrogen sulfide 이외에 유기산 종류의 악취물질의 기여도가 높은 이유로 판단되며, B 돈사와 C 돈사의 Hydrogen sulfide의 악취기여율이 각각 28.8 %와 27.4 %로 A 돈사 보다 높게 나타난 것은 유기산 종류의 기여율이 상대적으로 낮은 분포대를 보이기 때문인 것으로 판단된다.

유기산 물질 중 Propionic acid의 배출 범위가 0.13 ~ 0.29 ppm이 발생하여 전체 악취 기여도에 미치는 영향이 1.4 ~ 1.7 %정도로 다른 유기산류에 비해 비교적 낮은 것으로 조사되었다. n-Butyric acid은 배출 범위가 0.08 ~ 0.18 ppm으로 발생

하여 배출농도는 적지만 전체 악취 기여도에 미치는 영향은 24.5 ~ 31.5 %로 높게 미치고 있는 것으로 나타났는데, 이는 다른 유기산류나 Hydrogen sulfide처럼 최소감지농도가 낮아 나타난 결과라 할 수 있다. 또한 n-Valeric acid와 i-Valeric acid은 배출범위가 각각 0.0167 ~ 0.0335 ppm과 0.0144 ~ 0.0382 ppm으로 측정되었고, 전체 악취 기여도에 미치는 영향은 27.3 ~ 32.5 %와 10.7 ~ 19.1 %를 차지하여 다른 종류의 유기산과 더불어 많은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 이는 배출농도는 낮으나 최소감지농도가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4.26. Test on the average emission concentration and level of contribution of odor compounds

구분	최소 감지 농도	측정결과								
		A 돈사			B 돈사			C 돈사		
		평균 배출 범위	예상 복합 악취	기 여 도	평균 배출 범위	예상 복합 악취	기 여 도	평균 배출 범위	예상 복합 악취	기 여 도
		ppm	ppm	배	%	ppm	배	%	ppm	배
Ammonia	1.5	18.0	12	0.4	12.0	8	0.5	8.5	6	0.3
Hydrogen sulfide	0.00041	0.2316	565	18.9	0.2033	496	28.8	0.1860	454	27.4
Methyl mercaptan	0.00007	0.0015	21	0.7	0.0002	2	0.1	0.0000	0.0	0.0
Dimethyl sulfide	0.0030	0.0017	1	0.0	0.0020	1	0.0	0.0000	0.0	0.0
Dimethyl disulfide	0.0022	0.0000	0.0	0.0	0.0000	0.0	0.0	0.0000	0.0	0.0
Propionic acid	0.0057	0.2900	51	1.7	0.1346	24	1.4	0.1344	24	1.4
n-Butyric acid	0.00019	0.1788	941	31.5	0.0846	445	25.9	0.0770	405	24.5
n-Valeric acid	0.000037	0.0335	905	30.3	0.0207	559	32.5	0.0167	451	27.3
l-Valeric acid	0.000078	0.0382	490	16.4	0.0144	185	10.7	0.0246	315	19.1
복합악취(배)		356	-	-	246	-	-	255	-	-
예상복합악취 (배)		-	2,985	-	-	1,720	-	-	1,655	-
기여도(%)		-	-	100	-	-	100	-	-	100

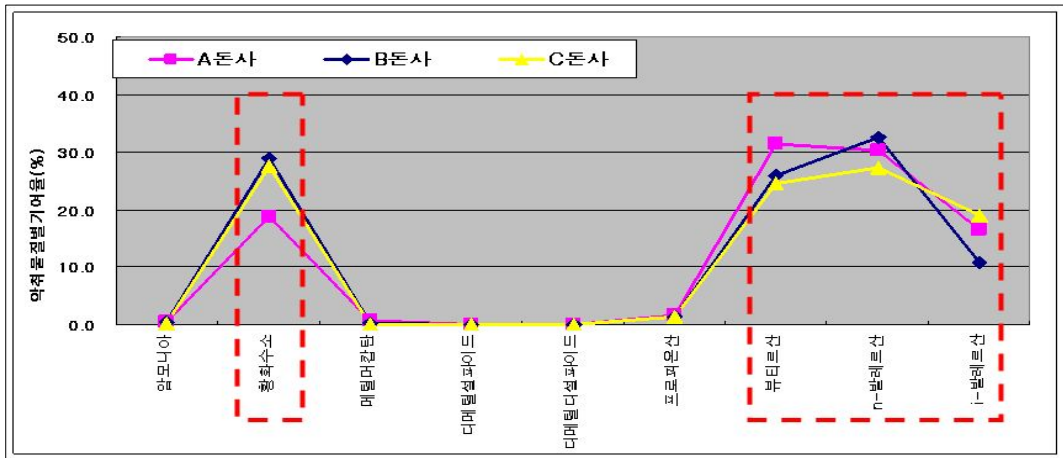


Fig. 4.23. Test on the contribution level at odor in the each pig house.

Fig. 4.24는 돈사의 주요 악취원인물질만 선별하여 돈사별 발생추이를 분석하였다. A 돈사의 경우 환경개선제를 사용하지 않은 돈사로 배출농도가 모든 항목에서 높은 것을 알 수 있으며, B, C 돈사는 환경개선제를 이용하는 돈사로 배출경향이 비슷하고 A 돈사에 비하여 낮은 수준임을 알 수 있다.

환경개선제와 분뇨를 순환시키는 C 돈사의 경우에는 환경개선제를 급이 용으로만 사용하는 B 돈사보다 대체적으로 낮은 악취발생 수준을 보였는데 이는 환경개선제에 함유된 미생물이 순환되는 분뇨 처리수의 유기물을 분해하는 것으로 사료된다.

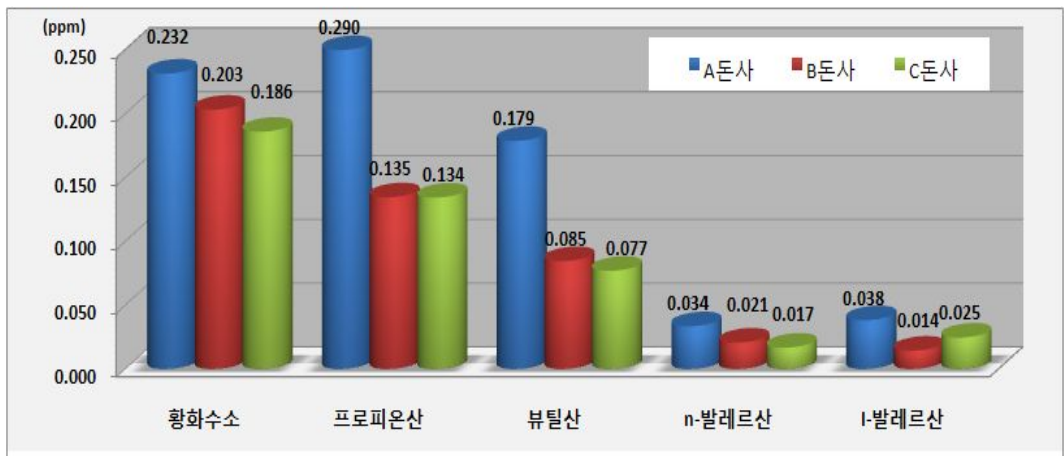


Fig. 4.24. Emission concentration of odor compounds at each pig house.

나. 돈사의 악취관리

돈사의 주요 악취원인물질은 Hydrogen sulfide와 유기산 물질로 나타났다. 그러나 Hydrogen sulfide와 유기산 물질은 최소감지농도가 매우 낮아 측정 장비를 이용하여 분석하기 이전에는 사람의 후각적 기능으로는 발생수준을 예측하기에는 한계가 있다.

따라서 Ammonia를 비롯한 지정악취물질은 모든 물질에서 비슷한 배출패턴을 보이고 있어 냄새정도를 쉽게 감지할 수 있는 Ammonia를 Target항목으로 설정하여 돈사의 악취관리를 수행할 경우 다른 물질의 발생을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4.7.2 수질의 악취농도 영향인자

가. 수질

돈사의 분뇨 수질분석결과 분뇨 중에서 악취발생과 직접적 상관성이 있는 물질로 s-BOD, T-N, NO₃-N, 대장균군 등은 환경개선제를 사료에 혼합 급이하고 slurry pit에 살포된 C 돈사에서 가장 낮은 것으로 조사되었으며, 이는 미생물에 의해 분뇨 중의 악취유발 물질이 일부 분해되고 있는 것으로 판단된다. 반면에 환경개선제를 전혀 사용하지 않고 사육이나 분뇨처리방식이 기존의 방식인 A 돈사에서 가장 높은 배출수준으로 평가되었다.

나. 악취배출의 영향인자

수질분석결과와 복합악취의 상관관계를 계산하는 것은 불가능하나, 수질오염물질의 배출수준과 복합악취의 함수관계는 비례적인 경향이 있는 것으로 분석된다.

Fig. 4.25에 제시된 것처럼 환경개선제를 사용하지 않은 A 돈사의 수질오염물질 농도 및 복합악취 배출수준이 가장 높은 것으로 나타났으며, B, C 돈사의 복합악취 배출수준은 비슷한 경향을 보이나, 환경개선제 사용 여부에 따른 수질오염물질 및 복합악취 배출수준은 낮다는 결론을 얻을 수 있었다.

분뇨의 수질분석결과 C 돈사의 배출수가 거의 모든 오염물질 항목에서 낮은 농도로 배출되는 것으로 조사되었는데, 환경개선제를 이용한 분뇨처리방법에 있어서 C 돈사의 배출수 중 오염물질 농도가 낮은 이유는 돈사에서 발생된 분뇨를 slurry pit에서 순환되는 처리수의 미생물에 의해 분해가 이루어지고 있음을 의미한 것으로 사료된다.

또한 배출수 농도 대비 최종 처리수 즉 C 돈사 유입수의 농도가 낮은 결과를 나타내고 있는데, 이는 분뇨처리시설의 폭기조 및 발효조 등에서 2차적인 분해가 이루어져 분뇨 중의 오염물질을 처리하고 있는 결과로 사료된다.

즉, 분뇨 순환시스템은 분뇨발생에서부터 분해와 순환과정으로 이어지는 각 공정에서 분뇨의 분해가 이루어지고 있으며, 이는 미생물의 활성상태가 유지된 조건에서 오염물질의 분해는 악취발생을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

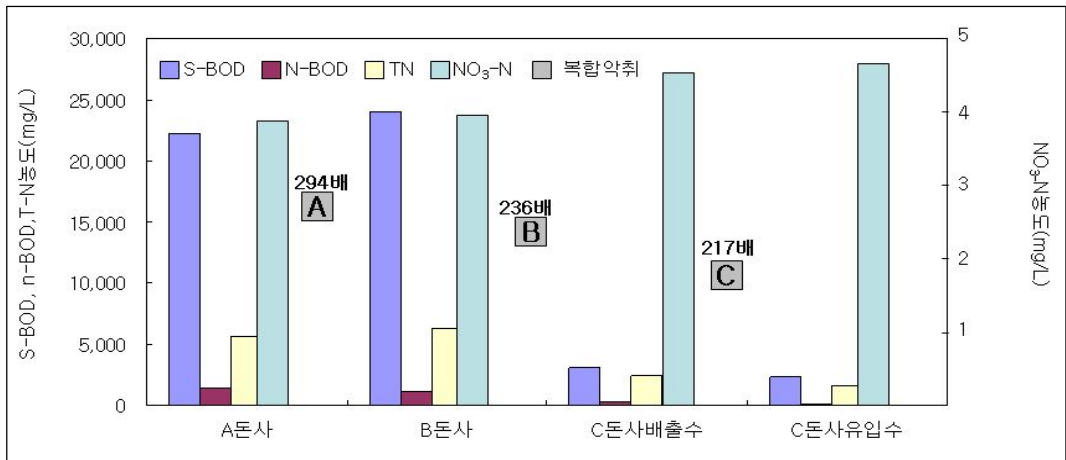


Fig. 4.25. Emission tendency of water pollutants(manure) at each pig house.

4.7.3 돈사 온 · 습도와 악취농도의 영향인자

돈사의 환기는 계절별 일별 시간대에 따라 온도와 습도를 조정하기 위해 달라진다. 돈사내부의 악취물질 적체량은 악취의 발생정도, 돈사와 환기조건에 따라 달라질 수 있는데, 조건이 동일하다는 가정 하에 돈사내부의 온 · 습도 측정 자료를 토대로 환기량의 추정에 따른 시간대별로 악취물질의 발생 추이를 분석하였다.

Table 4.27과 같이 돈사의 온 · 습도와 악취농도의 영향인자에 대한 자료는 '09.7.24일 ~ '09.7. 25일(48시간)동안 돈사내부 온 · 습도 자료를 이용하였으며, 악취물질은 동일 시간대의 자동측정장비로 연속적으로 측정한 Ammonia와 Hydrogen sulfide의 결과를 활용 하였다.

온도와 습도가 높을 경우에 악취를 유발하는 물질이 부패나 반응이 활성화 되어 악취물질이 높게 나타난 것으로 조사되었다. 적절한 돈사의 온도와 습도의 유지로 악취발생물질을 억제할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 4.27. Measurement results on the temperature, humidity and odor compounds at each pig house

돈사 구분	온·습도 측정결과						악취물질 측정결과						비고
	온 도 (℃)			습 도 (%)			Ammonia (ppm)			Hydrogen sulfide (ppm)			
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	
A 돈사	28.9	27.1	27.5	87.7	54.2	68.6	33.6	20.6	26.3	1.2	0.6	1.0	연속 측정 결과
B 돈사	28.5	26.4	27.1	97.6	51.4	66.4	29.9	14.1	21.3	0.9	0.4	0.6	
C 돈사	28.2	25.6	26.5	90.4	50.1	65.1	19.6	11.5	14.9	0.6	0.4	0.3	

가. A 돈사의 온·습도와 악취농도의 영향인자

(1) 온·습도 배출경향

Fig. 4.26과 같이 A 돈사의 평균온도와 습도는 각각 27.5 ℃, 68.6 %이고, 온도 편차는 1.8 ℃로 돈사의 온도 사양관리의 다항에 제시된 일일 온도편차 기준 8.3 ℃에 충족되고 있으며, 고온기의 사양관리 기준인 26 ~ 29 ℃를 충족하고, 습도는 사육환경의 Guide-Line 50 ~ 70 %를 만족하고 있는 것으로 조사되었다.

시간대별 온도 분포는 매일 12 ~ 17시 범위에서 돈사내부 온도가 상승된 이유는 고온기의 계절적 요인으로 돈사온도가 상승된 것으로 추정된다.

시간대별 습도분포는 밤에는 높은 상태로 유지되다가 낮에 낮아지는 경향으로 나타났는데, 이는 낮 시간대에 온도상승과 연관된 문제로 환기량이 증가되면서 돈사의 습기가 배출되어 낮아진 것으로 추정된다.

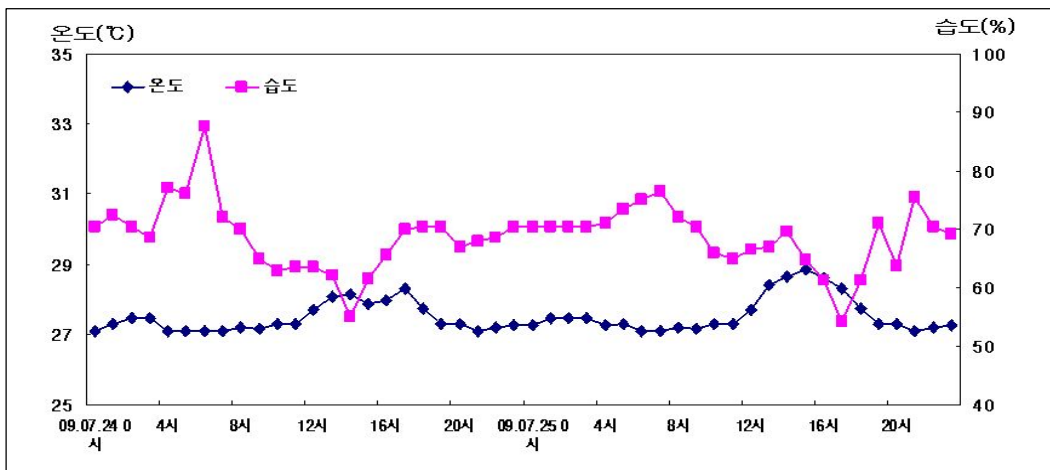


Fig. 4.26. Temperature and humidity according of A pig house.

(2) Ammonia 및 Hydrogen sulfide의 농도변화

Fig. 4.27과 같이 A 돈사에서 시간대별로 배출되는 Ammonia 및 Hydrogen sulfide에 대한 농도변화에 대해 측정하였다. A 돈사의 Ammonia 농도는 26.3 ~ 33.6 ppm, Hydrogen sulfide 농도는 0.6 ~ 1.2 ppm 범위로 조사되었으며, 배출경향을 비교해보면 Ammonia 및 Hydrogen sulfide가 비슷한 배출경향을 보이고, 저녁시간에 농도가 높아졌음을 알 수 있다. 이는 A 돈사 온도그래프와 비교 시 밤 시간대에 환기량 감소로 악취물질이 다소 높아진 이유로 판단된다.

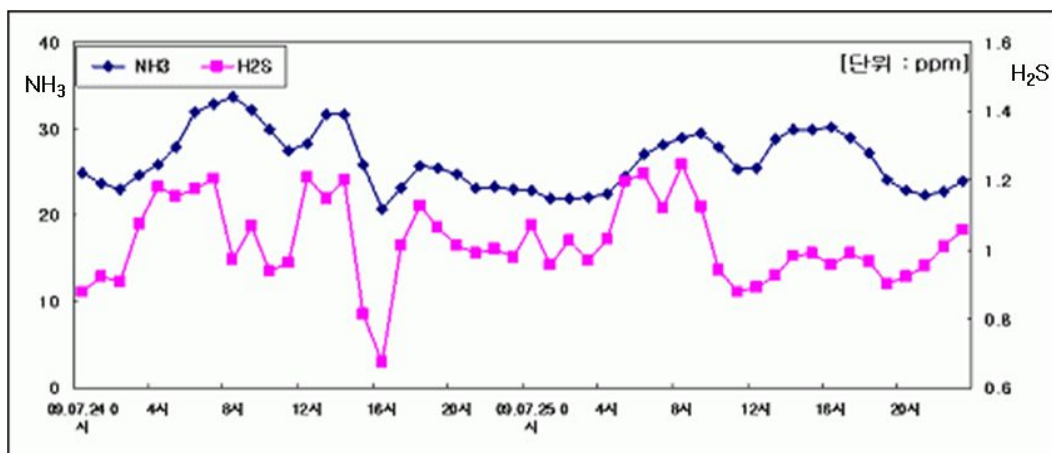


Fig. 4.27. Concentration changes of Ammonia and hydrogen sulfide of A pig house.

나. B 돈사의 온·습도와 악취농도의 영향인자

(1) 온·습도 배출경향

Fig. 4.28과 같이 B 돈사의 평균온도는 27.1 °C이고 일 최대온도편차는 0.7 °C이며, 습도는 평균 66.4 %로 사육환경은 A 돈사와 비슷한 수준으로 나타났다.

시간대별 습도범위 및 변동주기가 A 돈사에 비해 자주 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 여러 가지 원인이 작용할 수 있는데 환기FAN이 On-Off방식으로 가동과 멈추는 시간이 너무 길게 설정되었거나 FAN 용량이 과대로 설계될 경우, 사육두수 및 연령 등 여러 가지 요인에 의해 나타나는 현상으로 추정된다.

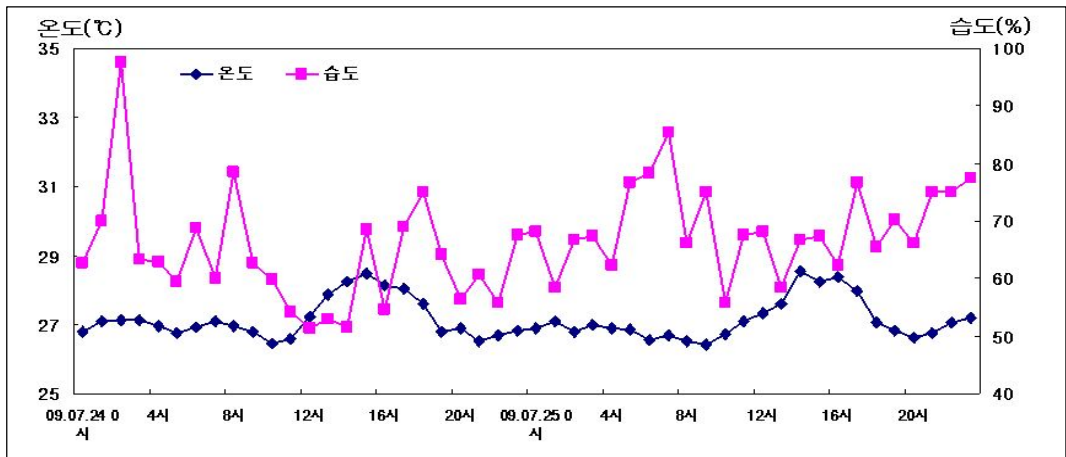


Fig. 4.28. A temperature and humidity graph of B pig house.

(2) Ammonia 및 Hydrogen sulfide의 농도변화

Fig. 4.29와 같이 B 돈사의 Ammonia 농도는 14.1 ~ 29.9 ppm, Hydrogen sulfide 농도는 0.4 ~ 0.9 ppm 범위로 A 돈사에 비하여 비교적 낮은 수준으로 조사되었다. Ammonia 및 Hydrogen sulfide는 비슷한 배출경향을 보이고, 저녁시간에 농도가 높아졌음을 알 수 있다. 이는 A 돈사와 마찬가지로 돈사 온도그래프와 비교 시 밤 시간대에 환기량 감소로 악취물질이 다소 높아진 이유로 판단된다.

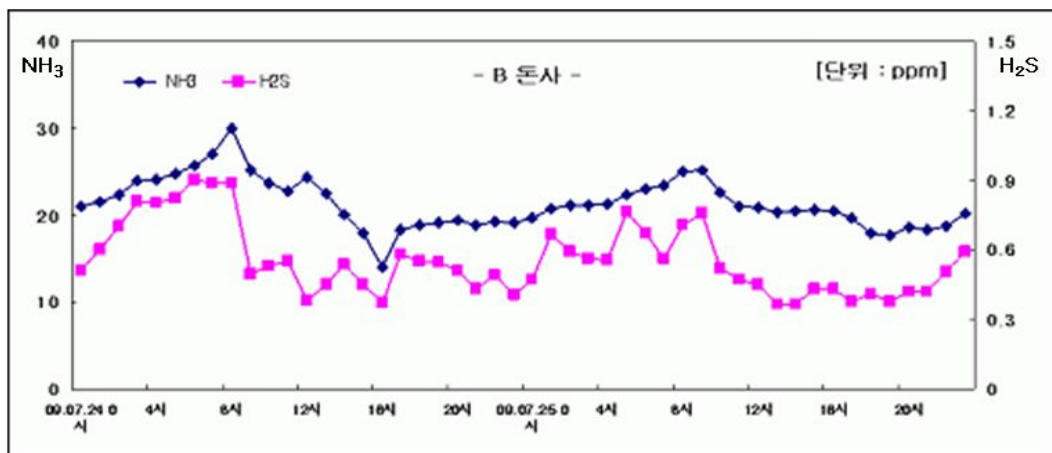


Fig. 4.29. Concentration changes of Ammonia and hydrogen sulfide of B pig house.

다. C 돈사의 온 · 습도와 악취농도의 영향인자

(1) 온 · 습도 배출경향

Fig. 4.30과 같이 C 돈사의 평균온도는 26.5 °C이고 일 최대온도편차가 2.6 °C이며, 습도는 평균 65.1%로 사육환경의 Guide-Line 50 ~ 70%에 충족되는 것으로 조사되었다. C 돈사의 시간대별 온도 분포는 A, B 돈사와 마찬가지로 매일 12 ~ 17시 범위에서 돈사내부 온도가 상승된 이유는 고온기의 계절적 요인으로 돈사 온도가 상승된 것으로 추정된다. 시간대별 습도분포는 밤에는 높은 상태로 유지되다가 낮에 낮아지는 경향으로 나타났는데, 온도상승과 연관된 문제로 환기량이 증가되면서 돈사의 습기가 배출되어 낮아진 것으로 추정된다.

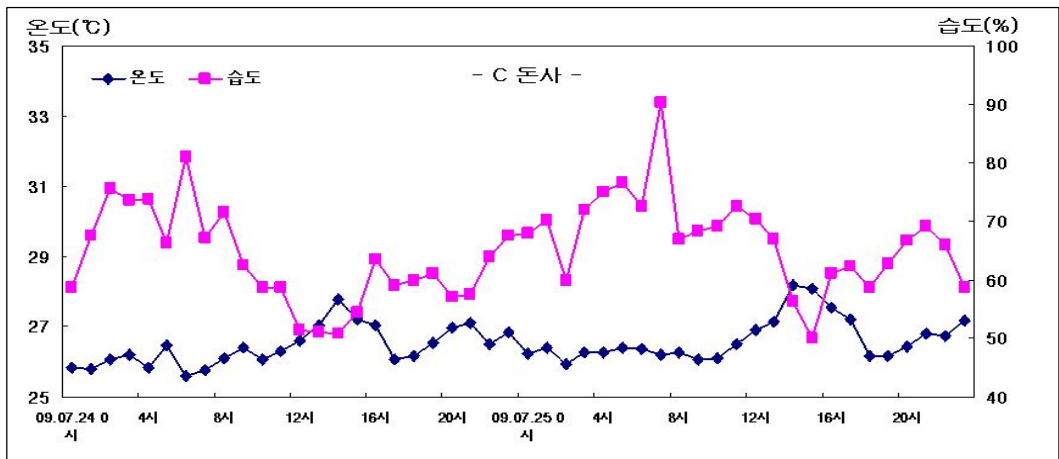


Fig. 4.30. A temperature and humidity graph of C pig house.

(2) Ammonia 및 Hydrogen sulfide의 농도변화

Fig. 4.31과 같이 C 돈사의 Ammonia 농도는 11.5 ~ 19.6 ppm, Hydrogen sulfide 농도는 0.4 ~ 0.6 ppm 범위로 3개 돈사 중 가장 낮은 수준으로 조사되었다.

Ammonia 및 Hydrogen sulfide는 매우 유사한 배출경향을 보이고, 저녁시간에 농도가 높아졌음을 알 수 있다. 이는 돈사 온도그래프와 비교 시 밤 시간대에 환기량 감소로 악취물질이 다소 높아진 이유로 판단된다.

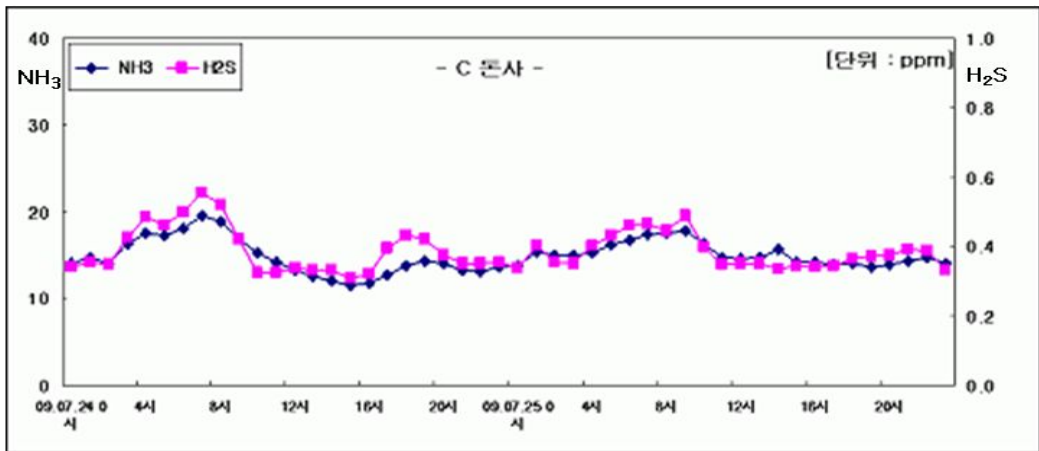


Fig. 4.31. Concentration changes of Ammonia and hydrogen sulfide of C pig house.

4.8 분뇨순환 돈사의 악취저감

4.8.1 slurry pit

분뇨 순환시스템은 돈사에 돼지가 입돈 되기 전에 slurry pit 용량의 30 %정도를 물로 채운다. 급이용으로 사용한 분말의 환경개선제를 액체로 제조하여 돈사 slurry pit에 주기적으로 살포하여 환경개선제에 함유한 미생물의 우점상태를 확보해야 하며, 환경개선제 살포는 최종처리수가 순환되어 slurry pit가 활성화 될 때까지 지속적으로 수행하였다.

Fig. 4.32의 분뇨순환시스템 적용돈사에 양돈이 입돈 되면 분변은 slurry pit로 배출되고, 돈 분뇨는 미생물의 영양원으로 작용되며, slurry pit는 미생물이 서식될 수 있는 공간적 기능으로 미생물의 대사활동에 의해 속성분해가 이루어진다. 초기 조건에서 돈사관리의 주의사항은 slurry pit 바닥에 돈분의 적체 유무에 대해 확인하고 적체 시나 상부에 부유 고형분 발생량이 많을 경우에는 살포량을 증가시키거나 주기를 단축시켜 미생물의 활성도를 높여 분해를 촉진 시킨다. 그리고 배출수의 탁도나 고형분 함량이 높거나 악취발생정도가 높을 경우도 동일한 방법을 수행하여 안정화를 유지시킨다.

또한 분뇨순환시스템이 안정화 된 이후에도 미생물은 지체기 → 대수성장기 → 감소성장기 → 내생성장기 등의 cycle이 이루어지므로 주기적으로 환경개선제를 돈사 및 slurry pit에 살포하여 항상 활성상태를 유지한다.



Fig. 4.32. Picture of manure circulation system at pig house(C pig house).

Fig. 4.33의 C 돈사 분뇨 배설로 slurry pit에 분뇨가 60cm 정도 채워지면 분뇨처리조로 분뇨가 배출되면서 순환이 이루어진다. 분뇨처리가 안정화되는데 소요되는 기간은 약 6개월 ~ 1년 정도이고 안정화 이후에는 slurry pit에서 약 70 %정도가 분해되므로 분뇨의 성상은 대부분 고형분 함량이 낮은 액상으로 배출된다.



(A) Farming environment.



(B) condition of slurry pit.

Fig. 4.33. Farming environment and condition of slurry pit of C pig house.

Fig. 4.34와 같이 분뇨처리가 안정화 될수록 탁도는 낮아지며, 악취발생도 줄어든다. 초기 운전조건에서 순환량은 매우 중요한 운전인자로써, 시설규모에 따라 순환량이 결정되는데 순환량이 많을 경우 빠른 유속으로 slurry pit에서 미분해된 분뇨가 배출되어 분뇨처리시설에서 과부하로 분뇨처리 효율이 저하되며, 미처리된 분뇨가 돈사내부로 재 유입되어 돈사 등 순환공법 전체에서 악취가 발생하는 경우도 있다.

이러한 조건은 연구 기간 동안 C 돈사에 발생되었으며, 돈사 및 분뇨처리시설에서 고농도의 악취가 발생하는 결과가 초래되기도 하였다. C 돈사의 악취발생원인은 양돈이 입돈 되기 전에 가수량(加水量)이 부족한 상태에서 분뇨의 조기 순환 및 순환량을 필요 이상 높게 운영하여 미 분해된 상태로 분뇨가 배출 되었다.



(A) Before stabilization.



(B) After stabilization.

Fig. 4.34. Changes of turbidity at influent manure.

Fig. 4.35와 같이 미 분해된 분뇨의 유입은 분뇨처리시설의 부하량 증가로 이어지고, 폭기조는 산소가 유입되는 호기발효 조건에서 미생물의 속성분해 작용으로 다량의 기포 및 악취가 발생 될 수 있으며, 미처리된 순환수가 돈사로 재 유입되어 돈사 및 분뇨처리시설에 악취가 발생된 것으로 판단된다.

비정상적 운전기간에 악취발생이 급격하게 증가되는 것으로 나타났는데, 개선 방안은 분뇨처리시설에서 분뇨를 약 20 %를 제거하고 제거한 분뇨의 양만큼 물을 가수한 후 환경개선제 추가살포 및 순환수량 조절 등의 방법에 의해 서서히 활성화 되어 안정조건이 확보되는 것으로 나타났다.



(A) careless operation.



(B) stabilized operating state.

Fig. 4.35. Production of bubble by careless operation and stabilized operating state.

4.8.2 온도

악취물질의 증가 및 감소된 기간의 전·후 기간 동안 돈사에서 측정 한 온도는 평균 25.1 °C, 범위는 21.1 ~ 27.5 °C이고 최대온도편차는 6.4 °C로 온도사양관리 기준에 충족되며 전·후반기에 환기량 변동의 징후는 나타나지 않았다.

4.8.3 악취물질

Table 4.28과 같이 전반기의 Ammonia 및 Hydrogen sulfide의 평균 배출농도는 각 24.3 ppm, 1.2 ppm 후반기는 각 19.3 ppm, 1.0 ppm으로 낮아진 결과로 Ammonia 및 Hydrogen sulfide가 각 5.1 ppm, 0.2 ppm정도 감소된 것으로 나타났다.

Fig. 4.36과 같이 악취물질 배출경향은 전반기에는 Ammonia 및 Hydrogen sulfide가 높은 농도를 보이다 10월19일 부근에서 최고치를 나타낸 후 점진적으로 낮아지는 경향을 볼 수 있다.

Table 4.28. Odor measurement results at inside of C pig house(automatic measurement)
Unit : ppm

구 분	Ammonia			Hydrogen sulfide			비 고
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	
전반기	32.4	13.3	24.3	2.4	0.5	1.2	연속측정 결과
후반기	30.6	4.4	19.2	2.6	0.5	1.0	

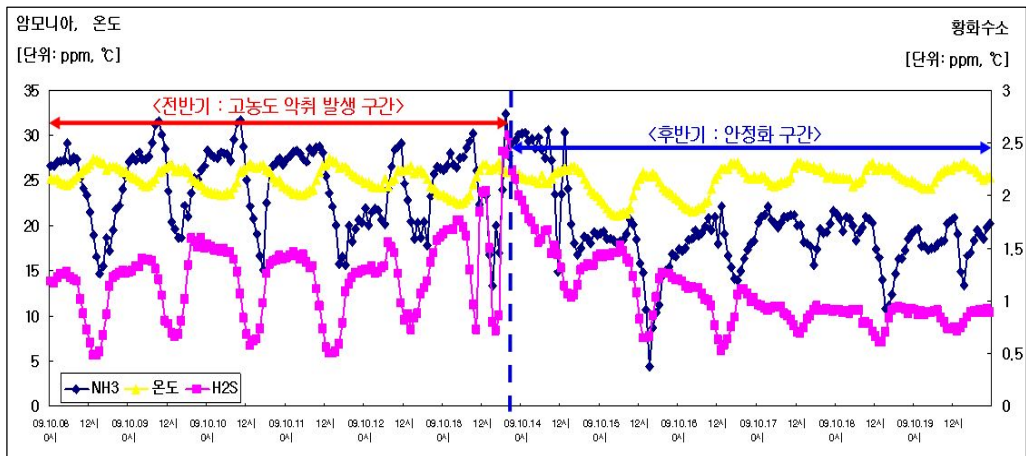


Fig. 4.36. Odor production graph at inside of C pig house (Automatic measurement).

4.8.4 분뇨순환 돈사

C 돈사내부의 악취저감효과는 악취발생 원인분석 조치내역에 의거 다소 저감된 것으로 판단되며, 특히 미생물 배양액 살포, 순환수량 조절, 분뇨의 일부분 제거 등이 주요한 요인으로 사료된다. 이는 순환공법의 분뇨처리는 순환수 중에 미생물이 우점 상태가 유지되도록 주기적인 관리 및 살포가 필요하고, slurry pit 및 분뇨처리장의 미생물 활성화, 안정적인 분뇨처리조건, 순환량 조절에 따른 충분한 체류시간 확보 등 운전조건이 복합적으로 작용 될 때 악취가 저감된 분뇨처리를 기대할 수 있다.

4.8.5 분뇨처리시설의 체류시간

비육돈 520두가 사육되고 있는 C 돈사 slurry pit에 채워진 분뇨량은 Table 4.29에 나타난 바와 같이 약 300ton정도로 추정되며, 분뇨의 유입량은 순환수량 및 배설물량을 고려하여 slurry pit의 체류시간은 약 85일, 분뇨처리시설의 체류시간은 약 54일로 조사되었다.

Table 4.29. Calculation of manure retention time at C pig house slurry pit

구 분	유입수량 (ton/일)	slurry pit		분뇨처리시설		비 고
		체적(m ³)	체류시간(일)	체적(m ³)	체류시간(일)	
분뇨배설량	2.7	300	85	190	54	
순 환 수 량	0.8					
합 계	3.5					

4.8.6 분뇨처리의 기작

Fig. 4.37의 분뇨처리시설의 운전기작은 유량조정조에서 1차 폭기조로 분뇨가 유입되어 산소가 공급되는 상태에서 격렬한 교반이 이루어진다. 교반과정에서 잔존 고형분이 미세한 형태로 바뀌고 미생물에 의해 분해가 이루어진 후에 발효조로 유입된다.

폭기조 ~ 발효조의 분뇨 유입통로는 바닥에서 1.1 ~ 1.6m 높이에 구멍이 3개 (100A) 가 설치되어 있다. 상부 2개는 폭기조 → 발효조, 하부 1개는 발효조 → 폭기조로 분뇨의 흐름이 형성된다. 폭기조에 설치된 교반기(Air-Rator)는 잔존 고형분을 미립자 형태로 바꾸고, 외부의 공기를 흡입하여 분뇨처리시설의 용존산소 유지, 강력한 흡인력으로 발효조의 미처리된 분뇨를 폭기조로 유입시키는 기능이 있다.

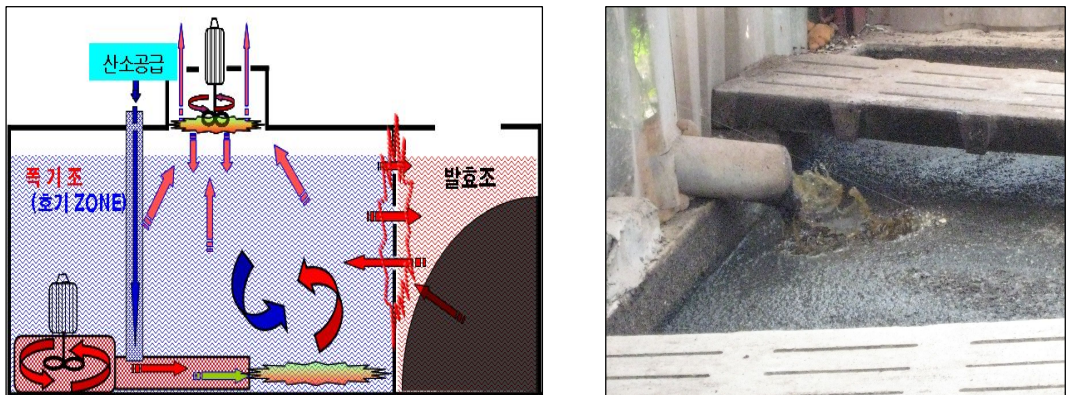


Fig. 4.37. A cross-sectional diagram of fermenter and emission of manure.

4.8.7 분뇨처리시설의 순환량 추정

분뇨처리시설의 발효조는 액비생산이 가능하다. 분뇨 순환량 및 분뇨 제거량(액비생산량)은 안정화조건, 분뇨 발생량 등에 따라 달라지는데 초기 운전조건에서는 분뇨발생량 만큼 매일 제거시켜 주어야 한다.

Table 4.30과 같이 분뇨 순환시스템은 돈사배출수의 탁도, 배출수의 고형분량, 공정의 악취발생량, 기포발생량, slurry pit의 부유고형물 상태 등이 안정적인 운전조건의 지표로 작용된다. 안정화 이후에는 분뇨 제거량이 감소되는 것으로 확인되었는데 이는 순환과정에서 자연증발량, 미생물의 대사활동(CH₄, CO₂ 등)에 의해 감소되는 것으로 추정된다. 분뇨 순환량은 하절기 및 동절기에 따라 달라지는데 이유는 외기온도의 영향으로 미생물의 활성도 차이에 의한 영향으로 판단된다.

Table 4.30. Survey results on the quantity of removal and circulation of C pig house manure

구 분	사육두수 (마리)	분뇨발생량 (ton/day)	분뇨 제거량		비 고
			초 기 (ton/day)	안정화 이후 (ton/2day)	
연구 결과	520	2.7	2.7	3 (추정)	-
분뇨 순환량 산정	하절기	분뇨발생량의 약 30 %			-
	동절기	분뇨발생량의 약 400 %			-

입자가 큰 물질은 폭기조 ↔ 발효조에 순환되는 과정에서 최종적인 분해가 이루어지고, 폭기조 및 발효조간 분뇨의 유동성은 발효조의 부패를 방지시키는 효과가 있는 것으로 조사되었다. 또한 발효조는 유동성이 낮은 구역으로 혐기발효 및 호기발효가 동시에 이루어지며, 일부는 바닥으로 가라앉고 일부는 2차폭기조로 유입되어 분해된 후 재차 발효조로 유입되는 과정을 거친다.

발효조에서 월류된 분뇨는 1차 침전, 2차침전조를 거쳐 최종처리수조로 유입되며 최종처리수조에서 펌프 및 유량 분배조를 이용하여 돈사로 순환된다.

분뇨처리시설의 발효조에서 분뇨유입량(발생량)만큼 분뇨를 주기적으로 뽑아내어 농경지 및 초지에 살포시키는데 분뇨(액비)는 비교적 걸죽한 상태(Mud)로 악취발생은 거의 없는 것으로 조사되었다.

4.8.8 분뇨순환 돈사의 사육환경 평가

가. 돈사 사육환경

Table 4.31과 같이 C-3 돈방의 사육환경은 양돈의 체고(體高) 높이에서 온도는 평균 27.1 °C, 습도는 평균 58.3 %로, 양돈의 사양관리 기준에 충족되고 있는 것으로 조사되었다.

연구가 진행된 C 돈사(C-3)의 바닥은 Fig. 4.38과 같이 전면 slot 구조로 내부는 각 4개의 돈방으로 이루어져 있다. 각 돈방에 육성돈(약 70일령)을 입돈시켜 비육돈(약 110kg)으로 출하시키고 있으며, 연구기간동안 C-3 돈방의 전체 사육두수는 112두로 유지시키고 출하일수를 조사하였다.

Table 4.31. measurement results on the temperature-humidity of C-3 room of pig house.

구 분	양돈 체고(體高) 높이의 온·습도 측정결과		사양관리기준			비 고
			온도(°C)		습도(%)	
	온도(°C)	습도(%)	고온기	중온기	상대습도	
최 대	30.8	93.1	26 ~ 29	18 ~ 22	50 ~ 70	기간 '09.8.31 ~ 11.25 (자동측정)
최 소	18.4	30.1				
평 균	27.1	58.3				

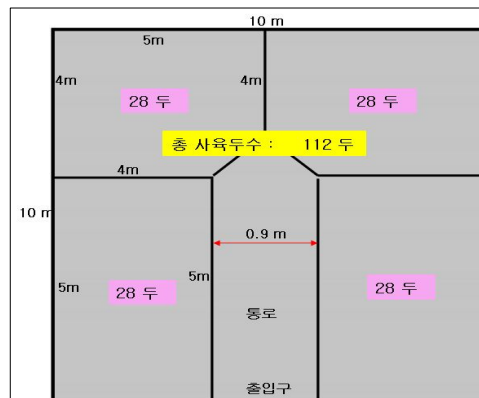


Fig. 4.38. Farming environment of C pig house and structure of room(C-3 room).

나. 출하일수 조사

Table 4.32와 같이 C-3 돈방은 70일령(육성돈 초기)의 양돈을 각각의 돈방에 28마리씩 입돈 시켜, 돈방 별로 약 26마리(93 %)가 96.5일 이후에 출하되는 것으로 조사되어 전체적인 사육기간은 167일정도로, 일반 돈사 대비 약 13 ~ 23일 정도 빠른 것으로 조사되었다. 이는 생산회전율이 빨라 양돈농가에 수익률 향상을 통한 이익창출이 증가될 수 있는 것으로 조사되었다.

양돈 사육방식 중 일관경영에서 출산에서 출하(110kg기준)까지 소요기간은 사료의 성상 및 사육조건 등에 따라 다소 차이는 있으나 일반적으로 약 180 ~ 190일 정도로 보고되고 있다.

출하일령이 빠른 이유는 연구기간동안 사료섭취량에 대한 조사는 이루어지지 않아 구체적인 원인을 규명하기에는 한계가 있으나, 돈방의 사육환경이 적합하여 사료섭취 후 대부분 수면 등의 휴식이 이루어져 증체율이 향상된 것으로 판단된다.

Table 4.32. C-3 Survey on the shipping date of C-3 room of pig house

돈방구분	입돈일자	입돈일령	사육두수	출하일자	출하두수	잔여두수	비고
C-A	5월20일	약 70일 (육성돈초기)	28	8월24일	25	3	잔여두수는 타 돈방에 모아 증체 후 출하시킴
C-B			28		27	1	
C-C			28		26	2	
C-D			28		26	2	
C-A	8월26일		28	12월1일	26	2	
C-B			28		27	1	
C-C			28		26	2	
C-D			28		25	3	
평균			28	96.5일			

다. 돈사 사육밀도

사육밀도는 계절, 돈사 내 온도, 돈방 바닥형태, 체중, 개방 또는 무창 돈사 등 돈사형태에 따라 돈방 당 수용두수의 차이는 있을 수 있다. 그러나 양돈사육에 있어서 적절한 사육밀도는 양돈농가들의 가장 큰 고민인 소모성 질환을 줄일 수 있는 하나의 방법도 될 것이며, 무항생제 축산물 생산도 가능할 것이다.

일정한 공간에 적정 사육두수가 초과되면 스트레스를 받게 되며 양돈들의 무리한 밀사는 호흡기질환은 물론 식미벽과 같은 질병 발생률도 높고, PSS (Porcine Stress Syndrome : 스트레스 증후군)등이 유발될 수 있다. 또한 휴식 공간이 없어 배변자리까지 양돈들이 눕게 되어 결국 밀사 돈방의 양돈은 피부에 배설물이 많이 묻어 질병 및 악취발생이 증가될 수 있다.

Table 4.33에 나타낸 바와 같이 친환경 양돈사육 방식에서 연령(육성 ~ 비육돈)에 따른 사육밀도는 0.6 ~ 0.9㎡/두를 적정 사육밀도로 제시하고 있으나, C-3 돈방의 사육밀도는 0.84㎡/두로 약간의 밀집사육으로 조사되었다.

Table 4.33. Survey results on farming density

Unit : ㎡/두

연 령	체 중	축사시설면적				사육밀도 조사
		표준설계	등록제	무항생제	유기	육성 ~ 비육돈
분만돈	두 당	9.72	3.9	3.9	4.0	가용면적 : 95㎡ 사육두수 : 112두 사육밀도 : 0.84㎡/두
육성(비육)돈	60 kg이하	1.43	0.6	0.6	1.0	
비육돈	60 kg이상	3.1	0.9	0.9	1.5	
임신(후보)돈	두 당	3.96	1.4	3.1	3.1	
웅돈	두 당	0.6	9.7	9.7	10.4	

4.9 폭기에 의한 유용미생물 증가 및 유해미생물 억제

최근 자연 순환농업의 일환으로 액비의 자원화 추진 및 경종농가 활용 활성화 방안이 추진되고 있는데, 액비를 작물에 시용할 경우 식물체에 직접 닿기 때문에 안전하게 이용하기 위해서는 액비의 안전성 여부가 가장 중요한 요인이 된다.

가축분뇨 액비의 실수요자인 경종, 과수, 원예 등의 농가들은 악취 없는 액비를 선호하고 있을 뿐만 아니라 위생적이고 안전한 액비를 원하고 있으며, 액비교반 및 고액분리 효과, 폭기 처리에 의한 악취저감 효과 등에 대한 영농활용 기술 자료는 있으나 폭기 처리에 의한 유용미생물 증가, 유해미생물 억제 효과에 대한 영농활용자료는 없는 실정이다.

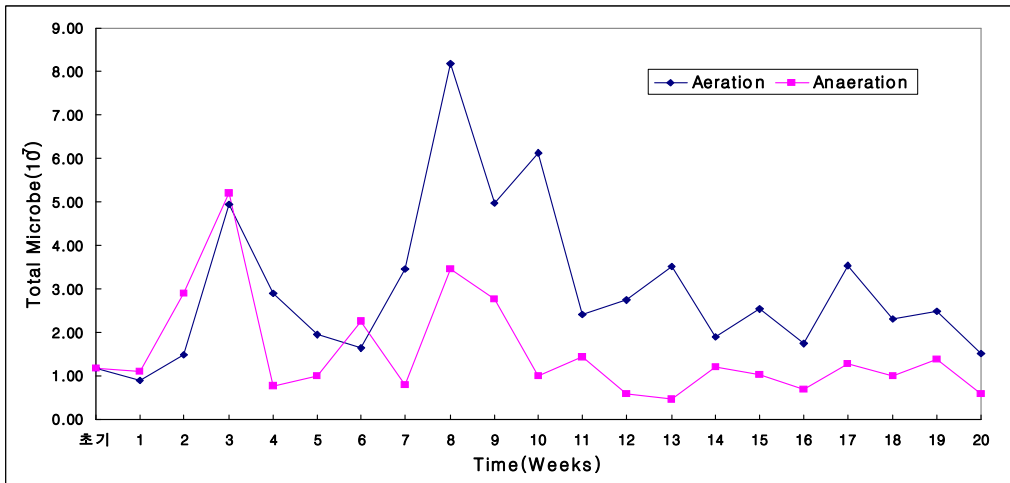
액비의 폭기 처리 시 유용미생물이 증가하고 유해미생물을 억제하는 효과에 대한 기술 보급을 위해 폭기 장치가 설치된 액비저장조에 고액분리된 양돈분뇨 액비를 투입하는데, 액비저장조 내에는 시간당 2.5m³/톤의 공기가 액비 중에 공급될 수 있도록 조절하여 90일 이상 폭기 처리한다. 공기를 공급하는 폭기 장치는 5분 가동, 30분 정지로 타이머를 조정하여 가동하고, 초기에는 폭기 처리에 의한 냄새확산의 우려가 있다.

양돈분뇨 액비를 폭기 처리함으로써 방선균과 같은 유용미생물을 증가시키고, 대장균군, 살모넬라 같은 유해미생물을 억제시킬 수 있을 뿐 아니라 부수적으로 액비살포 시 악취발생을 현저하게 줄여 현재 액비농가가 가장 많이 당면하고 있는 악취 민원을 해소해 주고 성분이 균일한 액비를 생산할 수 있음으로 액비이용 활성화가 기대된다.

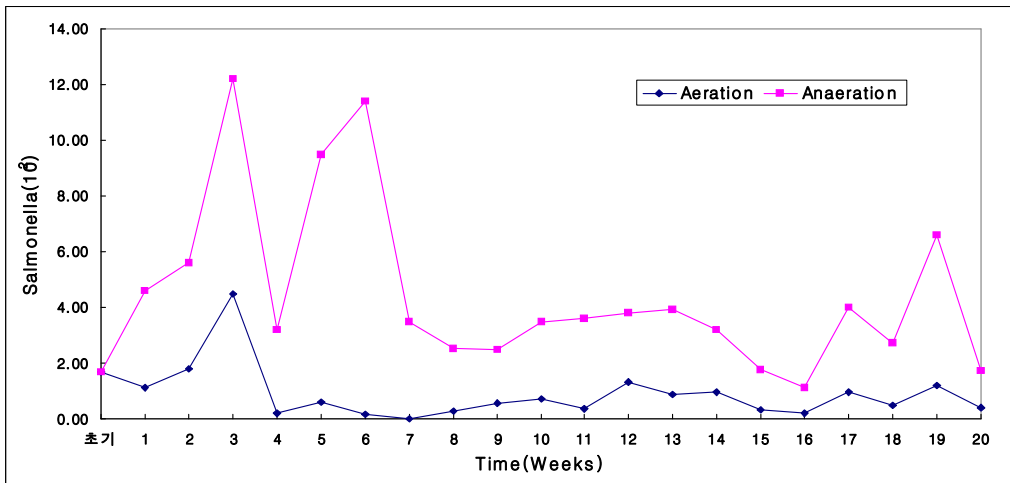
액비저장조 내 폭기장치를 설치하고, 고액 분리된 액비를 투입한 후 폭기를 하면 유용미생물은 증가하는 반면에 유해미생물은 억제되므로 위생적이고 안전한 액비의 생산이 가능해 진다.

Fig. 4.39에 나타낸 바와 같이 전반적인 총 미생물수는 폭기에 의한 호기상태가 유지되면 혐기상태보다 크게 증가한다. 이는 분뇨중의 질소 등의 영양제를 호기상태로 소화하는 것이 미생물 대사에 유리하며, 일반적으로 호기성 미생물이 성장속도가 높기 때문인 것으로 사료된다. 각 미생물별로 살펴보면 살모넬라, 대장균군과 같은 유해성 미생물은 호기상태보다는 혐기상태에서 높게 나타났으며, 방선균과 같은 무해 미생물은 호기상태에서 더 잘 성장하는 것으로 나타났다. 이는 유해미생물의 경우에 Hydrogen sulfide 등과 같은 악취물질 유발 가능성이 높고 호기상태뿐 만아니라 혐기상태에서도 속도차이는 있으나 성장이 가능하기 때문에 이러

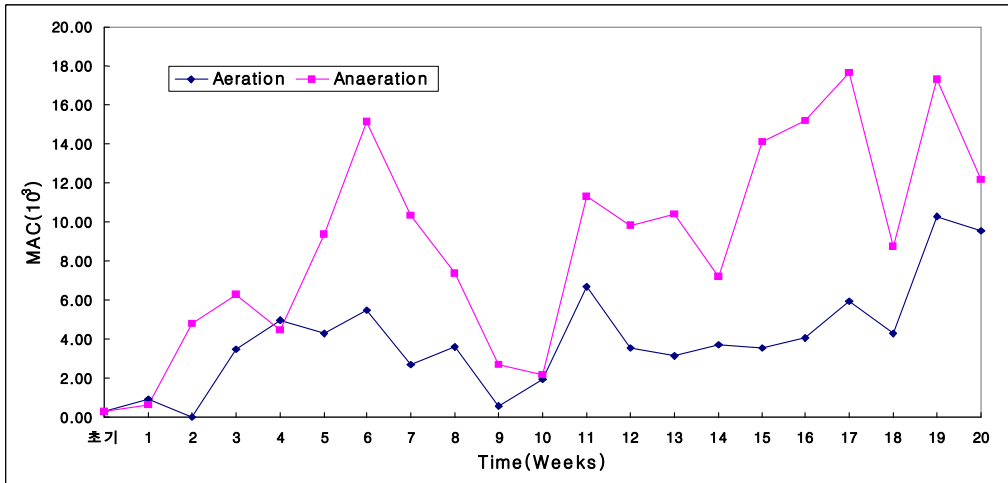
한 차이를 보이며, 무해/유익균들은 대체로 호기성이므로 아래와 같은 결과가 도출된 것으로 사료된다.



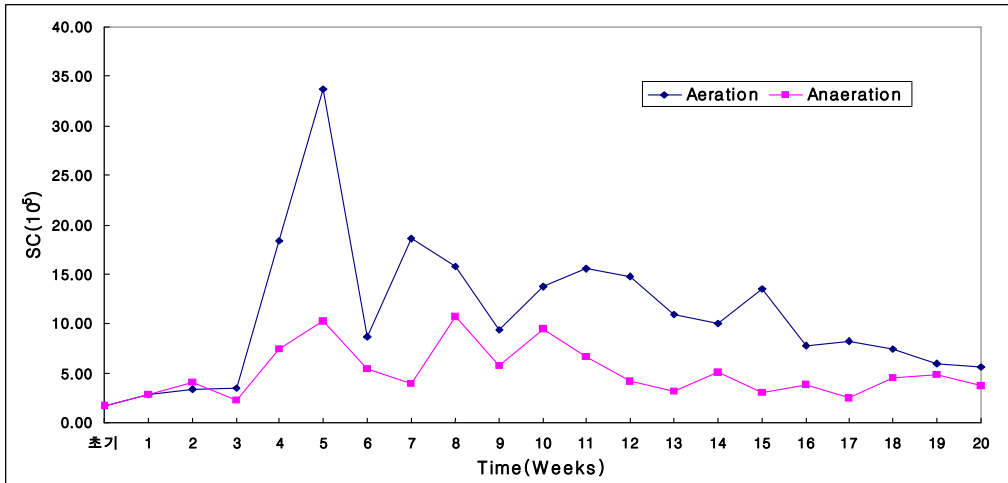
a. 총미생물.



b. 살모넬라.



c. 대장균군.

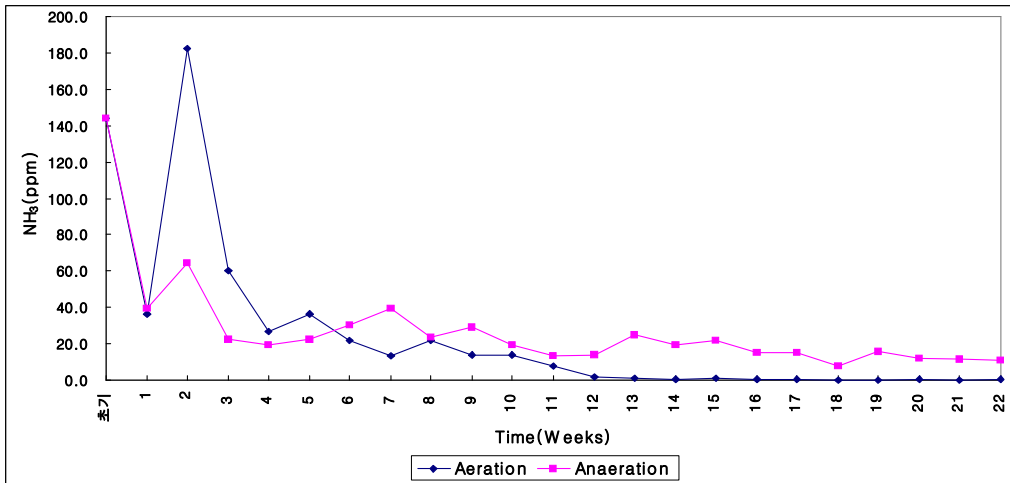


d. 방선균.

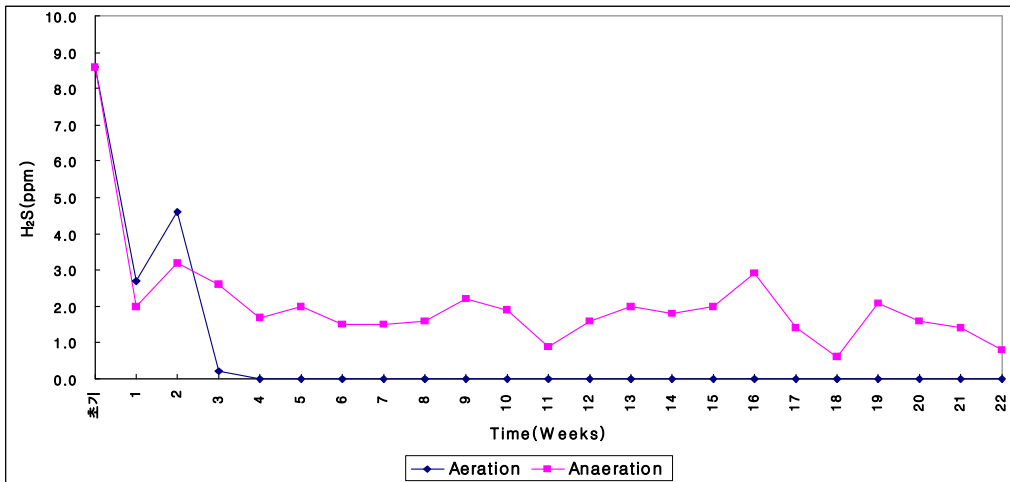
Fig. 4.39. Changes of microorganism in liquefied manure by aeration and non-aeration treatment.

악취물질 발생에 대해 살펴보면 Fig. 4.40에 나타낸 바와 같이 Ammonia 농도가 폭기와 함께 현저하게 감소하는 것을 알 수 있었으며, 특히 혐기상태에서 단백질 분해 시 발생하는 Hydrogen sulfide의 경우에는 Ammonia보다 더욱 큰 폭으로 감소하여 4일후부터는 거의 발생하지 않으므로 악취저감에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서 액비 저장 또는 생산시설의 경우 폭기를 하면 액비 내에 용존 된 Ammonia, Hydrogen sulfide가 탈기되어 오히려 악취를 발생시킬 수 있다는 우려가 많은 것이 사실이나 실제적으로 4일정도 경과 후에는 악취기여도가 높은 Hydrogen sulfide 등의 황 화합물 발생이 감소함으로써 전반적으로 악취를 크게 저감할 수 있음을 알 수 있었다.



a. Ammonia.



b. Hydrogen sulfide.

Fig. 4.40. Change of odor concentration by aeration and non-aeration treatment.

4.10 미생물제제 급이 양돈의 성장단계별 돈분 퇴비화 특성

농림부 정책방향이 축산분뇨는 환경 친화적 방법으로 최대한 자원화하여 퇴비·액비로서의 재활용이며, 환경부는 악취방지법(환경부, '05)에서 축사 및 가축분뇨의 처리 시 Ammonia Gas 등 악취저감을 위해 노력을 기울이고 있다.

양돈농가의 대다수는 현재 퇴비화방법을 기본으로 하여 분뇨를 처리하고 있으나 미생물제제 급이 시 돈분의 특성과 퇴비화 과정 중 악취발생량 감소 등에 대한 자료 제시가 부족한 상태이다. Table 4.34에 조사농가별 첨가제제의 특성을 나타내었다.

양돈의 성장단계별로 미생물제제 급이 시 배설되는 돈분의 퇴비화 과정별 특성을 기초자료로 활용 시 2006년도 제시된 양돈 성장단계별 돈분의 퇴비화과정 중 악취물질 발생특성에서는 미생물제제 미급이시 성장단계별 돈분의 퇴비화 특성 제시 자료이고, 2007년에는 미생물제제 급이 돈분의 퇴비화과정에서의 특성 및 악취저감 자료이며, Table 4.35에 미생물제제 급이 농가별 돈분의 오염물질 농도를 나타내었다. 환경개선 효과를 위하여 미생물제제 급이 양돈축사의 첨가제별 돈분 퇴비화 과정에서 분뇨특성 및 퇴비화 과정 중 수분 및 용적 감소율에 따라 퇴비화 효율이 향상되었는데, 돈분 퇴비화 시 과정별 특성은 돈분의 수분함량이 육성돈분 88.3 %, 모돈분 88.0 %이었고, 수분감소율은 비육돈 29.7 %, 모돈 26.7 %이었으며, 퇴비화 과정별 용적 감소율은 모돈분 28.8 %, 육성돈분 30.1 %, Ammonia 가스 농도는 10일 이후부터 급격히 감소하였으며, CO₂ 가스농도는 7일 이후부터 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 돈분 퇴비화 시 과정별 특성은 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 4.34. Characteristics of additives at each pig house

농가별 급이제제	총세균수	유산균	Yeast	<i>Bacillus</i> sp.	광합성균
A농장(미생물 A)	6.7×10^5	4.3×10^5	3.4×10^5	1.5×10^6	-
B농장(광물질제제)	-	-	-	-	-
C농장(미생물 B)	3.9×10^6	4.5×10^5	6.9×10^6	2.9×10^5	-

Table 4.35. The pollutant concentrations of pig manure with feeding feed additives containing micro organism

Unit : mg/L

구 분		pH	BOD	COD	SS	T-N	T-P
A농장	육성돈	6.6	72,215	75,900	159,500	7,194	1,402
	포유돈	7.1	56,174	60,192	157,000	6,862	1,438
B농장	육성돈	6.7	79,329	72,214	176,200	11,039	1,102
	포유돈	6.8	63,453	72,963	148,000	7,310	1,322
C농장	육성돈	6.9	68,540	66,990	171,000	7,262	1,624
	포유돈	7.0	73,750	69,385	164,800	6,816	1,640

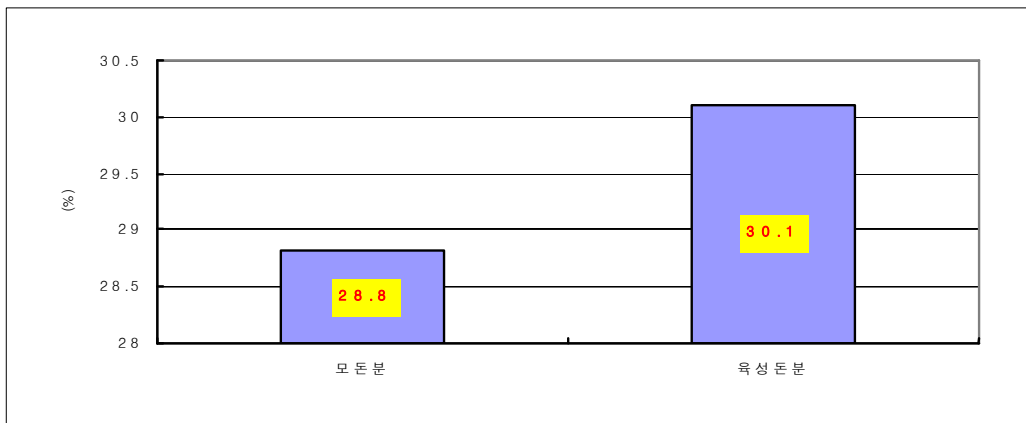


Fig. 4.41. Volume reduction rate during composting.

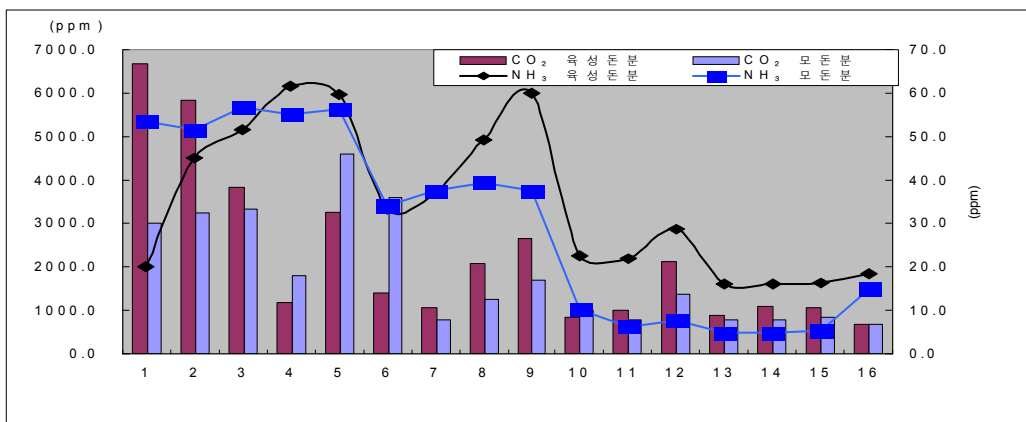


Fig. 4.42. Concentration changes of Ammonia and CO₂ during composting.

V. 결 론

분뇨순환시스템 돈사의 악취배출특성 및 발생요인분석을 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 분뇨순환시스템이 적용된 C 돈사는 유사한 조건을 갖는 일반 A와 B 돈사와 비교하여 복합악취는 낮은 수준으로 평가되었으며, 평균 Hydrogen sulfide 농도는 A 돈사 0.23 ppm, B 돈사 0.20 ppm, C 돈사 0.19 ppm으로 돈사별 발생농도는 비슷한 수준으로 나타났으며, Hydrogen sulfide는 악취기여도 평가 시 모든 돈사에서 주요 악취 원인물질로 확인되었다. Ammonia의 배출수준은 A 돈사에서 18.0 ppm으로 가장 높았으며, B, C 돈사는 각 12.9 ppm, 8.5 ppm으로 환경개선제를 사용한 돈사에서 낮은 수준으로 평가되었다.

2) 지정악취 물질 중 유기산물질의 배출수준은 Propionic acid 0.14 ~ 0.29 ppm, Butyric acid 0.08 ~ 0.18 ppm, n-Valeric acid 0.02 ~ 0.03 ppm, i-Valeric acid 0.01 ~ 0.04 ppm으로 모든 항목에서 환경개선제를 사용하지 않은 A 돈사가 제일 높은 수준이었고, 환경개선제가 사용된 B, C 돈사는 비슷한 범위로 조사되었으며, C 돈사에서 가장 낮은 결과로 나타났다.

황 화합물은 모든 돈사에서 0.01 ppm이하의 범위로 나타나 환경개선제 사용 여부에 따른 유의적 차이는 보이지 않았고, 또한 유기산물질은 Hydrogen sulfide와 더불어 돈사의 대표적 악취원인물질로 나타나 향후 돈사 악취저감을 위해 중요하게 관리되어야 할 물질로 사료된다.

3) 수질오염물질 평가는 대부분 A 돈사에서 가장 높은 수준으로 평가되었으며, B 돈사, C 돈사 순으로 조사되었다. 특히 C 돈사에서 악취발생에 직접적으로 작용되는 s-BOD 물질의 농도범위는 228 ~ 6,510mg/ℓ로 분뇨 폭기 및 교반 시 성분변화(고액분리수행)의 6개월 이후 농도(12,876mg/ℓ)보다 현저하게 낮은 것으로 조사되었다. 이는 환경개선제의 사용여부에 따라 악취발생이 낮아짐을 알 수 있는 결과로 분뇨 중에 미생물의 활성상태는 악취발생을 저감시킬 수 있는 중요한 요인으로 판단된다.

4) 악취물질(Ammonia, Hydrogen sulfide) 자동측정결과 돈사에서 Ammonia 및 Hydrogen sulfide의 배출량은 환기량에 따라 달라질 수 있는 것으로 조사되었다. Ammonia 및 Hydrogen sulfide 농도는 낮보다는 밤 시간대에 높은 것으로 나타났으며, 이는 낮 시간에는 환기량이 증가되어 악취물질이 외부로 배출됨에 따라 농도가 낮아지는 것으로 판단된다.

또한 돈사에서 Ammonia 및 Hydrogen sulfide는 환기량 및 방식에 따라 어느 정도 조절이 가능할 것으로 조사되었으며, 두 물질의 발생량은 비례적인 특징이 있는 것으로 조사되었다.

3개 돈사의 온·습도 관리는 대부분 양돈의 사양관리기준을 충족하고 있는 것으로 조사되었다. 외부 및 돈사내부 온·습도의 상관성은 비교적 낮은 수준으로 조사되었는데 이는 최적의 환기방식을 선택하여 온·습도 완충역할이 가능한 것으로 사료된다.

5) 환경개선제를 사용한 B 돈사 및 C 돈사와의 악취물질 배출 평가 시 대부분의 항목에서 미생물을 양돈에게 급이하고, slurry pit 및 분뇨처리시설에 살포되는 C 돈사가 낮은 수준으로 조사되었다.

또한 분뇨순환시스템을 적용한 돈사는 별도의 고형분이 발생하지 않으므로 고액분리 및 퇴비화시설이 필요로 하지 않아 악취발생원이 줄어드는 효과와, 돈사 내부 사육환경 향상으로 과밀사육, 폐사율감소, 시설유지비용 절감 등의 부수적 이익이 창출될 것으로 판단된다.

본 연구에서 얻어진 결과 중 분뇨순환 및 미생물의 분뇨처리효과는 양돈축사에서 악취를 저감시킬 수 있는 방향적 모델로 발전시킬 수 있는 기초 자료로 판단되며, 돈사의 악취저감에 대한 구체적인 방안마련은 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. 악취법령연구회, 악취방지법, 일본, 1995.
2. 서울시정개발연구원, 난지도지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안(악취관리), 2000.
3. 환경부, 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구, 2001.
4. 국립환경과학원, 시화·반월지역 악취원인물질 규명을 위한 정밀조사, 2001.
5. 경기개발연구원, 경기도 악취관리지역 지정 및 관리방안, 2004.
6. 국립환경과학원, 악취공정시험방법, 2005.
7. 환경부, 악취방지법, 2005.
8. 환경부, 악취방지법 제1장 2조, 2005.
9. 유재일의 돈사 환기백과(도서출판 아힘)
10. 양돈현장에서 본 환기(구로PNP)
11. 2008년도 춘계학술대회논문집[(사)한국냄새환경학회, 축산악취 관리방안
12. 2009 제주특별자치도 맞춤형 악취 기술지원 최종보고서(환경관리공단)
13. 악취방지법령집(환경부)
14. 가축분뇨 처리와 자원화(축산과학원)
15. 축산환경개선제 검증방안에 대한 연구 (농촌진흥청)
16. 가축분뇨 액비사용기술(농촌진흥청)
17. 친환경 양돈사육과 돈사시설(축산과학원)
18. 진단병원 미생물학(고려의학, 1999년)
19. 식품위생 미생물시험법(신광출판사, 1996년)
20. 사료공정서(농림부, 2005년)
21. 김재혁, 최홍림, 이기형, 권우택, 김기범, 김현욱, “한국인 정서에 맞는 냄새 표현 어구 분류”, 한국냄새환경학회지, 3(3), 166-171, 2004.
22. 환경부, 악취방지법 제 1장 2조, 2005.
23. 환경부, 악취배출허용기준, 대기환경보전법 별표(제 12조 관련) 8의 3.
24. 대전대학교 환경문제연구소, 탄천하수처리장 주변지역 냄새원인조사 및 방지 대책 연구, 2004.

25. Pearce, T. C., "Computational parallels between the biological olfactory pathway and its analogue 'The Electronic Nose' Part I. Biological olfaction", *Biosystems.*, 41, 69 ~ 90, 1997a.
26. Dravnieks, A. and Jarke, F., "Odor threshold measurement by dynamic olfactometry: significant operational variables", *J. Air Pollut. Control Assoc.* 30, 1284-1289, 1980.
27. Miner, J. R., Controlling odors from livestock production facilities: State-of-the-art. In: *Livestock waste: A renewable resource*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers; 297 ~ 301, 1980.
28. Amore, J.E., The perception of hydrogen sulfide odor in relation to setting an ambient standard *Olfacto-Labs*, Berkeley, CA: prepared for the California Air Resources Board. 1985.
29. Ruth, J. H., "Odor thresholds and irritation levels of several chemical substances: a review", *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 47, A142-A151, 1986.
30. Kustov, V. V., Means of determining the maximum allowable concentration of toxic products of natural human metabolism (from Russian). In: *General questions of industrial toxicology*, Moscow, PP. 63-65. National Aeronautics and Space Administration technical translation NASA TT F-11, 358 (reported by WHO, 1986).
31. American Industrial Hygiene Association. "Odor Threshold for Chemicals with Established Occupational Health Standards", American Industrial Hygiene Association: Okron. OH.1989.
32. Ritter, W. F., "Odor control of livestock wastes: State-of-the-art in North America", *J. Agric. Eng. Res.* 42, 51 ~ 62, 1989.
33. Jaakkola, J. J., Vilkka, V., Marttila, O., Jappinen, P. and Haahtela, T., "The south karelia air pollution study: The effects of malodorous sulfur Compounds from pulp mills on respiratory and other symptoms", *Am. Rev. Respir. Dis.* 142(6 Pt 1), 1344 ~ 1350, 1990.
34. Laska, M. and Hudson, R., "A comparison of the detection thresholds of odor mixtures and their components", *Chem. Senses.*, 16, 651 ~ 662, 1991.

35. Yu, J.C., C.E. Issac, R.N. Coleman, J.J.R. Fedds, and B.S. West,. Odourous compounds from treated pig manure. *Can. Agric. Eng.* 33: 131 ~ 136, 1991.
36. Shusterman, D., "Critical review: the health significance of environmental odor pollution. *Arch. Environ. Health.*, 47, 76 ~ 87, 1992.
37. Eekert, M.H., and en Wijbenga, A.D.J., Microbiële verzuring van varkensdrijfmest. nederlands Instituut voor Koolhydraat Onderzoek. JIKO-TNO. September 1992. Univ. of Groningen Press, the Netherlands, 1992.
38. Silver, W. L., "Neural and pharmacological basis for nasal irritation", *Ann N. Y. Acad.. Sci.*, 641, 152 ~ 163, 1992.
40. Cometto-Muniz, J. E., Cain, W. S., "Sensory irritation. Relation to indoor air pollution", *Ann N. Y. Acad.. Sci.*, 641, 137 ~ 151, 1992.
41. Bundy, D. S., Odor issues with wastes. In: National livestock, poultry and aquaculture waste management. Proceedings of the National Workshop. 1991. ASAE Publication 03 ~ 92; St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers; 288 ~ 292, 1992.
42. Andersson, M. Performance of additives in reducing ammonia emissions from cow slurry. Swedish Univ. of Agric. Sci. Dep. of Agric. Biosyst. and Technol. Rep. no. 93. JBL Publ., Sweden, 1994.
43. Budavari, S., O'Neil, M. J., Amith, A., Heckelman, P., Kinnerary, J. F., *The Merck Index: Merck & Co, Inc. White house Station, NJ*, 1996.
44. Charai, M., M. Mosaddak, and M. Faid,. Chemical composition and antimicrobial activities of two aromatic plants¹ *Oregamon majorana* L. and *O. compactum* Benth. *J.essential Oil Res.* 8: 657 ~ 664, 1996.
45. Bonazzi, G., C. Fabbri, and L. Valli. Options for controlling ammonia emissions from pig housing, In Proc. of Workshop on European co-Operative Research Network on Animal Waste, Godollo, Hungary. 9 ~ 11 Oct.1996. WRC Ref. CP 783. Hungarian Inst. of Agric. Eng., Godollo, Hungary, 1996.
46. Reynolds, s. J., Donham, K. J. Shitten, P., Merchant, J. A., Burmeister, L. F. and Pependorf, W. J., "Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary fouction in swine production workers", *American Journal of Industrial Medicine*, 29, 33 ~ 40, 1996.

47. Vandre, R., and J. Clemens. "Studies on the relationship between slurry pH, volatilisation processes and the influence of acidifying additives." *Nurt. Cycl. Agroecosyst.* 47: 157 ~ 165, 1996.
48. Varel, V.H., Nierenader, and Byrnes, B. "Urease Inhibitors reduce ammonia emissions from cattle manure." p. 721 ~ 728. In *Proc. of the Symp. on Ammonia and Odour Emissions from Animal Production*, Vinkeloord, the Netherlands. 6 ~ 10 Oct. 1997. NVTL, Rosmalen, the Netherlands, 1997.
49. Zhu, J., D.S. Bundy, L. Xiwei, and N. Rashid. Controlling odor and volatile substances in liquid hog manure by amendment. *J. Environ. Qual.* 26: 740 ~ 743, 1997b.
50. Esteban, E., The confinement animal feeding operation workshop, Centers for Disease Control and Prevention. National Center for Environmental Health. Atlanta, GA., 1997.
51. Amon, M., M. Dobeic, V.R. Phillips, R.W. Sneath, T.M. Misselbrook and B.F. Pain. A farm scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De Odorase for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. *Bioresour. Technol.* 61: 229 ~ 237, 1997.
52. Schiffman, S. S., "Livestock Odors: Implications for Human Health and Well-Being", *Journal of Animal Science.* 76, 1343-1355, 1998.
53. Shusterman, D., "The health significance of environmental odor pollution revisited", *Journal of Environmental Medicine*, 1(4), 249 ~ 258, 1999.
54. Schiffman, S. S., Walker, J. M., Dalton, P., Lorig, T. S., Raymer, J. H., Shusterman, D., Williams, C. M., "Potential health effects of odor from animal operations, wastewater treatment, and recycling of byproducts" . *Journal of Agromedicine*, in press, 7, 2000a,
55. Tamminga, S. and Verstegen, M. W. A., Implications of nutrition of animals on environmental pollution. In: W. Haresign and Cole D. J. (Ed) *Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworth-Heinemann, Oxford, U. K. pp. 113 ~ 130, 1992.
56. Hahtela, T., Marttila, O., Vilkkka, V., Jappinen, P. and Jaakkola, J.

- J., "The south karelia air pollution study: acute health effects of malodorous sulfur air pollutants released by pulp mill", *Am. J. Public. Health.* 82(4), 603 ~ 605, 1992.
57. Leduc, D., Gris, P., L'heureaux, P., Gevenois, P. A., De Vuyst, P. and Yernault, J. C., "Acute and long-term respiratory damage following inhalation of ammonia", *Thorax.*, 47, 755 ~ 757, 1992.
58. Barrington, S., Odor measurement, commercial substrates and biofilters. In: *Proc. of International Round Table on Swine Odor Control*, 13 ~ 15 June at Ames, IA, USA, 40 ~ 45. 1994.
59. Manou, I., Bouillard, M. J. Devleeschouwer, and A. O. Barel. Evaluation of the preservation properties of *Thymus vulgaris* essential oil in applied formulations under a challenge test. *J. Appl. Microbiol.* 84: 368 ~ 376, 1998.
60. Markie, R. I., Microbial production of odor components. In: *Proc. of International Round Table on Swine Odor Control*, 13 ~ 15 June at Ames, IA, USA, 18 ~ 19, 1994.
61. Griep, M. I., Mets, T. F., Vercruyse, A., Cromphout, I., Ponjaert, I., Toft, J. and Massart, D. L., "Food odor threshold in relation to age, nutritional and health status", *J. Gerontol.*, 50A, B407 ~ B414, 1995.
62. Kilburn, K. H. and Warshaw, R. H., "Hydrogen sulfide and reduced-sulfur gases adversely affect neurophysiological functions", *Toxicology. Ind. Health.*, 11(2), 185 ~ 197, 1995.
63. Hwang, Y., Matsuo, T., Hanaki, K. and Susuki, N., "Identification and quantification of sulfur and nitrogen containing odorous Compounds in wastewater", *Wat. Res.* 29(2), 711 ~ 718, 1995.
64. Amon, M., M. Dobeic, T.M. Misselbrook, B.F. Pain, V.R. Phillips, and R.W. Sneath. A farm scale study on the use of De Odorase for reducing odour and ammonia emissions from intensive fattening piggeries. *Bioresour. Technol.* 51: 163 ~ 169, 1995.
65. Reynolds, s. J., Donham, K. J. Shitten, P., Merchant, J. A., Burmeister, L. F.

- and Pependorf, W. J., "Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers", *American Journal of Industrial Medicine*, 29, 33 ~ 40, 1996.
66. Bliss, P. J., schulz, T. J., Senger, T. and kaye, R. B., "Odor measurement-factors affection olfactometry panel measurement", *Water sci. Technol.*, 34, 549 ~ 556, 1996.
67. Hendriks, J.G.L., and Vrieink, M.G.M., Anzuren van varkensmest via het voer. *Praktijk-oderzoek varkenshouderij*. June 1996. Rsmalen, the Netherlands. 1996.
68. Martinez, J., J. Jolivent, F. Guiziou, and G. Langeorie, Ammonia emissions from pig slurries. Evaluation of acidification and the use of additives to reduce losses. P. 475 ~ 483. In *Proc. of the Int. Symp. on Ammonia and Odour Emissions from Animal Production*, Vinkeloord, the Netherlands. 6 ~ 10 Oct. 1997. NVTL, Rosmalen, the Netherlands.
69. Hendriks, J.G.L., and Vrieink, M.G.M., 1997. Reducing the emission from pig houses by adding or producing organic acids in pig slurry. p. 493 ~ 501. In *Proc. of the Int. Symp. on Ammonia and Odour Emissions from Animal Production*, Vinkeloord, the Netherlands. 6 ~ 10 Oct. 1997. NVTL, Rosmalen, the Netherlands.
70. Pearce, T. C., "Computational parallels between the biological olfactory pathway and it analogue 'The Electronic Nose':Part I. Biological olfaction", *Biosystems.*, 41, 69 ~ 90, 1997a
70. Esteban, E., *The confinement animal feeding operation workshop*, Centers for Disease Control and Prevention. National Center for Environmental Heath. Atlanta, GA. 1997.
71. Schiffman, S. S., "Livestock Odors: Implications for Human Health and Well-Being", *Journal of Animal Science*. 76, 1343 ~ 1355, 1998.
72. Nurul, A. K. M., Hanaki, K. and Matsuo, T., "Fate of dissolved odorous Compounds in sewage treatment plants", *Wat. Sci. Tech.* 38(3), 337 ~ 344, 1998.
73. Schiffman, S. S., "Livestock odors: Implications for Human health and

- well-being", *J. Anim. Sci.*, 76, 1343 ~ 1355, 1998.
74. Lens, P. N. L., Visser, A., Janse, A. J. H., Hulshoff, L. W. and Lettinga, P. G., "Bio technological treatment of sulfate rich waste waters, *Critical Reviews*", *Env. Sci. Tech.*, 28(1), 41 ~ 88, 1998.
 75. J. Zhu, G. L. and Riskowski, M. T., "volatile Fatty Acids as odor indicators in swine manure—A Critical Review", *Transactions of the ASAE.*, 42(1), 175 ~ 182, 1998.
 76. Hobbs, P. J., Misselbrook, T. H. and Cumby, T. R., "Production and Emission of odors and gases from ageing pig waste", *J. Agric. Engng. Res.* 72, 291 ~ 298, 1998.
 77. Pain, B.F., Van der Weeden, T.J., Chambers, B.J., Philips, V.T., and Jarvis, S.C. 1998. A new inventory for ammonia emissions from U.K. agriculture. *Atmos. Environ.* 32: 309 ~ 313.
 78. Koerkamp, P. W. G. G., Metz, J. H. M., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L. White, R. R., Hartung, J. and Seedorf, J., "concentrations and emissions of ammonia in livestock building in Northern Europe", *J. Agric. Eng. Res.*, 70(1), 79 ~ 85, 1998
 79. Abalos, M., Bayona, J. M. and Ventura, F., "Development of a Solid-Phase Micro extraction GC-NPD procedure for the determination of free volatile amines in wastewater and sewage-polluted waters", *Anal. Chem.*, 71, 3531 ~ 3537, 1999.
 80. Schweigkofler, M. Niessner, R., "Determination of Siloxanes and VOC in Landfill gas and Sewage gas by Canister sampling and GC-MS/AES analysis", *Environ. Sci. Technol.*, 33, 3689 ~ 3685, 1999.
 81. Ginzburg, B., Dor, I. and Lev, O., "Odorous Compounds in wastewater reservoir used for irrigation", *Wat. Sci. Tech.* 40(6), 65 ~ 71, 1999.
 82. Ultee, A., e. P. W., Kets, and E. J. Smid. 1999. Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Appl environ. Microbiol.* 65: 4606 ~ 4610.
 83. Zhu, J., Jun. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture. Ecosystems & Environment.* 78: 93 ~ 106.
 84. Stuetz, R. M., Fenner, R. A., Hall, S. J., Stratful, I. and Loke, D.,

- "Monitoring of wastewater odors using an electronic nose", *Wat. Sci. Tech.* 41(6), 41 ~ 47, 2000.
85. Wing, S., and Wolf, S., "Intensive livestock operations, health, and quality of life among eastern North Carolina residents", *Environmental Health Perspectives*, 108(3), 233 ~ 238. 2000.
86. Donham, K. J., "The concentration of swine production. Effects on swine health, productivity, human health, and the environment", *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16(3), 559 ~ 597, 2000.
87. Chou, S., *Hydrogen sulfide health issues*, Presented at: Hydrogen Sulfide Health Research & Risk Assessment Symposium October 31–November 2, 2000 Sheraton Chapel Hill, Chapel Hill, NC.
88. Schiffma, S. S., Walker, J. M., Dalton, P., Lorig, T. S., Raymer, J. H., Shusterman, D. and Williams, M. C., "Potential health effects of odor from animal operations, wastewater treatment, and recycling of byproducts", *Journal of agromedicine*, 7(1), 7 ~ 81, 2000.
89. Schiffman, S. S., Walker, J. M., Dalton, P., Lorig, T. S., Raymer, J. H., Shusterman, D., Williams, C. M., "Potential health effects of odor from animal operations, wastewater treatment, and recycling of byproducts" . *Journal of Agromedicine*, 7, 2000a, in press.
90. Collins, J. and Lewis, D., *Hydrogen sulfide: Evaluation of current california air quality standards with respect to protection of children*. Prepared for California Air Resources Board, California Office of Environmental Health Hazard Assessment. September 1, 2000
91. Keener, K. M., Keener, H. M., Bottcher, R. W., Munilla, R. D., Elwell, D. L. and Stowell, R. R., "Dust and odor emissions from a high-rise swine finishing facility", Paper No. 00-4028 at the ASAE Annual International Meeting, July 8 ~ 12, 2000. Milwaukee, WI.
92. Droman, H. J. D., and S. G. Deans. "Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils," *J. Appl. Bacteriol.* 88:308 ~ 316, 2000.
93. Schiffma, S. S., Auvermann, B. W., Bottcher, R. W., "Health effects of

- aerial emissions from animal production waste management systems", In: Proceedings of international symposium: Addressing animal production and environmental issues. Raleigh, North Carolina State University, 2001.
94. Shusterman, D., "Odor-associated Health Complaints: Competing Explanatory Models", *Chem. Senses.*, 26, 339 ~ 343, 2001.
 95. Gostelow, P., Parsons, S. A. and Stuetz, R. M., "Odor measurements for sewage treatment works", *Wat. Res.*, 35(3), 579 ~ 597, 2001.
 96. McCrory, D.F, and Hobbs, p.j. 2001. Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes : A Review. 30: 345 ~ 355.
 97. Schiffman, S. S., Bennett, J. L and Raymer, J. H., "Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina", *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 213 ~ 240, 2001.
 98. Shusterman, D., "Odor-associated Health Complaints: Competing Explanatory Models", *Chem. Senses.*, 26, 339 ~ 343, 2001.
 99. Varel, V.H., 2002. Carvacrol and Thymol Reduce Swine Waste Odor and Pathogens: Stability of Oils. *Current. Microbiology*. 44: 38 ~ 43.
 100. Ref 22, and Sensory and odor characteristics were found in Aldrich catalog 2002 ~ 2003.
 101. Segala, C., Poizeau, D. and Mace J. M., "Odors and health: a descriptive epidemiological study around a wastewater treatment plant", *Rev Epidemiol Sante Publique*, 51(2), 201 ~ 214, 2003
 102. Kim H., Murthy, S., Peot, C., Ramirez, M., Strawn, M., Park, C. H. and McConnell, L. L., "Examination of mechanism for odor Compounds generation during lime stabilization", *Wat. Environ. Res.*, 75, 121 ~ 125, 2003.
 103. Excalas, A., Guadayol, J. M., cortina, M., Rivera, J. and Caixach, J., "Time and space patterns of volatile organic Compounds in a sewage treatment plant", *Wat. Res.* 37, 3913 ~ 3920, 2003.
 104. Kim H., Murthy, S., Peot, C., Ramirez, M., Strawn, M., Park, C. H. and McConnell, L. L., "Examination of mechanism for odor Compounds generation during lime stabilization", *Wat. Environ. Res.*, 75, 121 ~ 125, 2003.
 105. Davoli, E., Gangai, M. L., Morselli, L., Tonelli, D., "Characterization

- of odorants emissions from landfills by SPME and GC/MS ", *Chemosphere*, 51, 357 ~ 368, 2003.
106. Segala, C., Poizeau, D. and Mace J. M., "Odors and health: a descriptive epidemiological study around a wastewater treatment plant", *Rev Epidemiol Sante Publique*, 51(2), 201 ~ 214, 2003
107. Hayes, E. T., Leek, A. B. G., Curran, T. P., Dodd, V. A., Carton, O. T., Beattie, V. E. and O'Doherty, J. V., "The influence of diet crude protein level on odor and ammonia emissions from finishing pig houses", *Biores. Tech.* 91, 309 ~ 315, 2004.
108. 월간축산. 2006.07 효율성과 경제성 동시 만족하는 탈취법

저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20087564	과 정	박 사
성 명	한글: 이 종 국 한문: 李 鍾 國 영문: Lee, Jong-Kuk				
주 소	경기도 용인시 기흥구 신갈동 인성현대아파트 102동-609호				
연락처	E-Mail : ljk9130@hanmail.net				
논문제목	한글 : 분뇨순환 돈사 악취특성 및 제거에 관한연구 영어 : A Study on the Odor Characteristics and Reduction of Livestock Wastes Cycle				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대()

2011 년 8 월 일

저작자 : 이 종 국 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하