



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](#)

碩士學位論文

제주지역 양돈 악취물질의 분석 및
발생 특성

濟州大學校 大學院

化學科

鄭吉原

2018년 8월

제주지역 양돈 악취물질의 분석 및 발생 특성

指導教授 姜昌禧

鄭吉原

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2018年 8月

鄭吉原의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

金德珠 

委 員

玄昌文 

委 員

姜昌禧 

濟州大學校 大學院

2018年 8月



Analysis and Emission Characteristics of Odor Compounds from Swine Farms of Jeju Area

Gil-won Jeong

(Supervised by professor Chang-Hee Kang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Science

2018. 8.

This thesis has been examined and approved.


.....
CHANG-GU HYUN
.....
Chang Hee Kang
.....

.....
Date

DEPARTMENT OF CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY



목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
ABSTRACT	v
I. 서 론	1
II. 연구방법	5
1. 시료 채취 및 기기	
1.1 시료 채취	5
1.2 측정기기	6
1.2.1 Low Volume Air Sampler	6
1.2.2 진공흡입상자	6
1.2.3 UV-Visible Spectrophotometer	6
1.2.4 Gas chromatography	6
2. 악취물질 분석	
2.1 암모니아 채취 및 분석	7
2.2 황화합물 채취 및 분석	8
2.3 휘발성 저급지방산 채취 및 분석	10
2.4 분석 데이터 신뢰도 평가	11
III. 결과 및 고찰	13
1. 돈사 농장별 악취물질 농도	
1.1 암모니아 농도	13
1.2 황화합물	19
1.2.1 황화수소 농도	20
1.2.2 메틸머캅탄 농도	25
1.2.3 이황화메틸 농도	29

1.2.4 이황화이메틸 농도	33
1.3 휘발성 저급지방산 농도	34
1.3.1 프로피온산 농도	35
1.3.2 <i>n</i> -뷰티르산 농도	39
1.3.3 <i>iso</i> -발리르산 농도	43
1.3.4 <i>n</i> -발레르산 농도	47
2. 악취 원인물질 기여도	52
IV. 결 론	58
V. 참고문헌	60

List of Tables

Table 1. Types of two swine farms selected for the study.	5
Table 2. Instrumental conditions for the analysis of sulfur compounds.	9
Table 3. Instrumental conditions for the analysis of volatile fatty acids.	11
Table 4. Method detection limit (MDL) and coefficient of variation (CV) for the analysis of odorous compounds (n=7)	12
Table 5. Concentrations of ammonia in four swine farms.	17
Table 6. Concentrations of ammonia in two type swine farms.	18
Table 7. Concentrations of hydrogen sulfide in four swine farms.	23
Table 8. Concentrations of hydrogen sulfide in two type swine farms.	24
Table 9. Concentrations of methyl mercaptan in four swine farms.	27
Table 10. Concentrations of methyl mercaptan in two type swine farms.	28
Table 11. Concentrations of dimethyl sulfide in four swine farms.	31
Table 12. Concentrations of dimethyl sulfide in two type swine farms.	32
Table 13. Concentrations of Propionic acid in four swine farms.	37
Table 14. Concentrations of Propionic acid in two type swine farms.	38
Table 15. Concentrations of <i>n</i> -Butyric acid in four swine farms.	41
Table 16. Concentrations of <i>n</i> -Butyric acid in two type swine farms.	42
Table 17. Concentrations of <i>iso</i> -Valeric acid in four swine farms.	45
Table 18. Concentrations of <i>iso</i> -Valeric acid in two type swine farms.	46
Table 19. Concentrations of <i>n</i> -Valeric acid in four swine farms.	50
Table 20. Concentrations of <i>n</i> -Valeric acid in two type swine farms.	51
Table 21. Odor quotients (OQ) and sums of odor quotient (SOQ) for nine odorous compounds in four swine farms.	56
Table 22. Odor contribution (%) of odorous compounds in four swine farms.	57

List of Figures

Figure 1. Analytical procedure of ammonia.	8
Figure 2. Gas Chromatograph equipped with Flame Ionization Detector.	9
Figure 3. Gas Chromatograph equipped with Mass Selective Detector.	10
Figure 4. Comparison of ammonia concentrations in four swine farms.	16
Figure 5. Comparison of Hydrogen sulfide concentrations in four swine farms.	22
Figure 6. Comparison of methyl mercaptan concentrations in four swine farms.	26
Figure 7. Comparison of dimethyl sulfide concentrations in four swine farms.	30
Figure 8. Comparison of Propionic acid concentrations in four swine farms.	36
Figure 9. Comparison of <i>n</i> -Butyric acid concentrations in four swine farms.	40
Figure 10. Comparison of <i>iso</i> -Valeric acid concentrations in four swine farms.	44
Figure 11. Comparison of <i>n</i> -Valeric acid concentrations in four swine farms.	49
Figure 12. Comparison of odor contributions by odorous compounds in four swine farms.	55
Figure 13. Comparison of odor contributions by odorous compounds in two type swine farms.	55

ABSTRACT

In this study, the 9 designated odorous compounds have been analyzed from four swine farms in Jeju Island, in order to investigate the emission characteristics and odor contribution by different ventilation types.

The ammonia showed the highest concentration in the fattening room of winch-curtain ventilation type (“C-farm”), and the hydrogen sulfide concentration was high in the growing room of enclosed ventilation type. Not only the odorous sulfur compounds, i.e., DMS, and DMDS, but also the volatile fatty acids, i.e., PA, *n*-BA, and *iso*-VA showed high concentrations in the winch-curtain ventilation type swine farms. However, the concentrations of H₂S and *n*-VA were high in the enclosed ventilation type swine farms.

The odor quotient (OQ) of *n*-BA was the highest among the odorous compounds, whereby the odor contributions by volatile fatty acids were high in all swine farms. Consequently, the volatile fatty acids might be considered as the major odor causing compounds to be controlled. In addition, the sum of odor quotient (SOQ) showed high values of growing room in “A-farm” (the enclosed ventilation type).

On the comparison of the odor contribution, the volatile fatty acids were the highest in the range of 56.8~95.5% in all farms, followed by sulfur compounds and ammonia. Furthermore, the odor contribution of volatile fatty acids showed 72.4%, and it was 26.3% for sulfur compounds and 1.3% for ammonia in enclosed ventilation type. On the other hand, in winch-curtain ventilation type, the odor contribution of volatile fatty acids was higher as 91.1%, and it was relatively low as 7.7% for sulfur compounds and 1.2% for ammonia, respectively.

I. 서 론

제주도는 국내에서 가장 청정한 대기질을 유지하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 최근 중산간 지역을 중심으로 널리 분포하고 있는 양돈시설과 축산폐기물 처리시설에서 발생하는 악취 때문에 심미적으로 나쁜 영향을 미치고 있어서 청정 대기질 관리에 어려움을 겪고 있다. 악취물질은 기존의 대기오염물질과는 달리 직접적으로 주민들에게 피해를 주고 있어서 최근 심각한 대기오염 문제로 인식되고 있고, 악취를 야기함으로써 지역 주민들의 민원을 발생시킬 뿐만 아니라 제주의 청정이미지 훼손과 더불어 관광산업에까지 악영향을 끼치는 결과를 초래하고 있는 실정이다(강진영, 2010; 오영숙 등, 2006).

이러한 악취는 암모니아, 황화합물, 아민류 등 기타 자극성이 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로, 유발물질의 종류가 대단히 많을 뿐만 아니라 악취물질들의 복합적인 상호작용이나 후각의 개인적인 차이로 인하여 느끼는 정도나 피해정도를 나타내기 어렵다(윤병석 등, 2003). 또한 발생량을 어느 정도 저감시키더라도 극미량만으로 취기를 유발시키기 때문에 이에 대한 대책과 방지에 많은 어려움을 겪고 있다.

양돈장에서의 가장 대표적인 악취 물질은 돈사 내의 사료와 돼지 배설물의 부패로 발생되고 있다. 주로 암모니아, 휘발성 저급지방산, 황화합물, 트리메틸아민과 같은 저급아민류 등이 악취의 원인 물질로 알려져 있다(Schiffman *et al.*, 2001; Mackie *et al.*, 1994; Schaefer, 1997). 특히 돈사 내 가장 대표적인 악취물질은 암모니아와 황화수소로 알려져 있다. 일반적으로 돈사 내 악취물질 중에 암모니아가 5.7 ppmv로 가장 높고, 다음으로는 황화수소가 0.9 ppmv 정도로 높은 농도를 나타낸다. 그러나 부지경계선에서는 이들 두 성분의 농도가 각각 2.5, 0.038 ppmv 정도로 암모니아는 약 56%, 황화수소는 약 96% 정도 감소하는 것으로 나타나고 있다(Yoo *et al.*, 2005). 이처럼, 이들 두 물질의 발생량은 다른 축사 작업장에 비해 돈사에서 상대적으로 높은 경향을 보이며, 외부 기온이 낮은 동절기에는 실내 온도유지를 위해 환기를 최소화하기 때문에 노출기준을 초과하는 경우가 많으며, 작업자에게도 체내 유해물질로 직접적인 피해를 줄 수 있

다(Coleman *et al.*, 1991; Nordstrom and McQuitty, 1976). 양돈장에서 발생하는 악취는 돼지의 성장단계에 따라 분만돈이 31%, 모돈이 23%로 가장 심하며 사육 시설과 분뇨처리 방식에 따른 악취는 슬러리 처리가 약 40% 정도로 가장 높은 비중을 차지하고 있다(유원균, 등 2012; Jang *et al.*, 2004).

우리나라 양돈장에서 채택하고 있는 축사형태는 외부와 차단된 밀폐형 돈사와 외부에 노출된 윈치커튼형 돈사가 대부분이다. 또 분뇨 수거방식에 따라 분과 뇨가 혼합된 슬러리형, 분과 뇨를 분리하여 처리하는 스크레퍼형, 슬러리와 스크레퍼형이 혼합된 형태 등으로 구분된다. 이처럼 돈사형태와 분뇨 수거방식이 비교적 복잡한 구조로 되어 있으며, 악취성분의 발생량도 각각 다르기 때문에 악취저감을 위한 처리방법을 확립하는 데에는 많은 어려움이 따르고 있다(송정민, 2013). 따라서 적절한 악취저감을 위해 축사형태와 분뇨수거방식에 따라 악취의 발생량을 상호 비교해 보는 것은 의미가 있다.

악취를 저감시키기 위해서는 축산분뇨의 악취발생 근원 물질인 유기물질화합물이 혐기상태로 전환되는 것을 방지해야 하는데, 일반적으로 유기물질이 혐기성 분해시에 악취 발생이 심해지기 때문에 악취발생을 줄이기 위해서는 호기성분해로 전환시킬 필요가 있다. 현재 국내에서도 이에 필요한 다양한 방법들이 개발되고 있으며 일부는 돈사에서 유용하게 활용되고 있다(이은영, 2012).

이처럼 돈사에서 발생하는 악취는 심미적으로는 물론 직접적으로 인체에 피해를 주기 때문에 적극적인 저감 대책이 필요하다. 현재 돈사에서 적용되는 악취 저감방법에는 흡착, 응축, 흡수, 소각, 생물탈취, 마스크링 방법 등이 있다. 이 중 흡착, 응축, 마스크링 처리방식은 비교적 처리비용은 높지만 효율은 그리 우수하지 않은 것으로 알려져 있으며, 이 방법들은 전처리 혹은 후처리 공정에서의 악취처리에만 부분적으로 적용되고 있다.

이처럼 다양한 방법으로 악취를 저감시킬 수 있으나 대부분 처리비용이 너무 높거나 효율이 떨어지는 문제점이 있으며, 농가에서 쉽게 이용하기에는 아직 부족한 점이 많은 것으로 알려져 있다. 그러나 미생물을 이용하는 생물학적 탈취방법의 경우, 상대적으로 높은 탈취 효율과 경제성을 동시에 갖고 있어서 실질적으로 많은 농가들이 관심을 가지고 있다.(이종국, 2011). 국내에서 유통되고 있는 생물학적 탈취제는 토양을 개선시키고 퇴비화를 촉진시켜 악취를 줄이는 방법을 적용하고 있다. 그리고 그 종류는 크게 무기물제제와 미생물제제 두 가지로 구분되는데, 미생물제제는 다시 광합성 균제제, 일반미생물제제, 효소, 미생물의 복합제 등으로 구분된다(월간축산, 2006).

그러나 미생물제제 제품에 대한 이해부족이나 과신으로 인해 피해를 보는 농가도 종종 발생하고 있다. 특히 최근 사료 관리법 개정으로 약사감시를 받지 않고도 보조 사료인 생균제로 등록이 가능해지면서 다수의 문제점들이 노출되고 있으며, 검증되지 않은 일부 유사품들이 농가나 사료취급점 등에 소개되고 있다. 이로 인해 미생물제제에 대한 혼란과 오해가 발생하고 있다. 이러한 문제 제품들은 대부분 전혀 검증되지 않은 수입품이거나 보조사료로 등록되지 않은 불법 제품들이 주류를 이루고 있다. 최근 많은 양돈농가들이 악취저감용 축산환경개선제를 사용하면서 수요 증가와 각 시·군의 지원에 여러 생산업체가 다양한 환경개선제 제조에 나서고 있다. 하지만 양돈농가는 그 종류와 효과를 자체적으로 검증할 수 없기 때문에 제품선택에 어려움을 겪고 있으며, 오히려 생산비 증가만 야기되는 문제점들이 발생하고 있는 것으로 알려져 있다.(최정은, 2009; 이은영, 2008).

우리나라 양돈산업 현황을 보면, 돼지사육농가가 2004년 13,268 가구에서 2016년 12월 기준 4,622 가구로 65%가 감소하였다. 그러나 돼지 사육두수는 2004년 8,908 천두에서 2016년에는 10,669 천 두로 늘어났고, 가구당 사육두수는 671두에서 2,308두로 344%나 증가한 것으로 조사되고 있다. 이러한 추세는 우리나라 축산업이 소규모에서 대규모화, 기업화, 전업화로 전환되어가고 있음을 의미하고 있다.

제주지역 돼지 사육 농가는 2016년 12월 기준 총 296가구이며, 돼지 사육두수는 564,000여 마리로 가구 당 사육 두수가 1,853 마리 정도이다. 이에 따라 발생하는 양돈분뇨 역시 크게 증가하여 1일 2,800톤 정도로 전체 가축분뇨 발생량의 약 70%를 차지하는 것으로 추정되고 있다(통계청 2016). 이처럼 양돈분뇨는 제주지역 전체 가축분뇨 발생량의 대부분을 차지하고 있고, 특히 한정된 공간에 밀집된 형태를 띠고 있어서 악취로 인한 민원이 빈번히 발생되고 있다. 이러한 이유로 도내에서 발생하는 악취관련 민원 역시 2006년 46건에서 2016년 660건으로 지속적으로 증가하는 추세를 나타내고 있다(환경부, 2016).

환경부에서는 여러 가지 문제를 일으키는 악취물질들의 체계적인 관리를 위해 2005년 2월에 악취 방지법을 제정하였다. 그리고 지속적으로 악취 지정물질을 확대하고 있으며, 2010년부터 현재 총 22 가지 물질을 지정악취물질에 포함시켜 기준에 따라 규제하고 있다.

본 연구에서는 축사형태가 유사한 제주지역 4개의 양돈장에서 악취시료를 채취하여

분석하였다. 그리고 분석결과로부터 제주지역 양돈장에서 발생하는 악취물질의 특성을 조사하고 각 성분의 악취기여도를 조사하였다. 또한 연구를 통하여 제주지역 양돈장에서 악취물질을 저감하고 관리하는데 필요한 정보를 제공하고, 보다 효율적으로 양돈악취 관리방안을 수립하는데 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 시료 채취 및 기기

1.1 시료 채취

암모니아, 황화합물 4종, 휘발성 저급지방산 4종을 분석하기 위하여 4개 양돈장을 선정하였고, 각 농장별 제원을 Table 1에 나타내었다. 이때 선정된 4개 양돈장을 돈사환기 방식별로 구분하였고, A-농장과 B-농장은 무창형슬러리(Enclosed Ventilation and Slurry, EnSI) 방식, C-농장과 D-농장은 윈치커튼형슬러리(Winch-curtain and Slurry, WiSI) 방식으로 운영하였다. 그리고 악취 시료는 데이터의 대표성 확보를 위해 맑은 날 동일한 시간대에 시료를 채취하였으며, 이때 채취기간은 2017년 4월부터 11월까지 총 8회에 걸쳐 채취하였다.

Table 1. Types of two swine farms selected for the study.

Swine Farms Type	Pig Farm	Manure Collection System	Ventilation Mode
Enclosed Ventilation and Slurry (ES)	A-Farm B-Farm	Deep-pit manure with slats	Forced ventilation (enclosed type)
Winch-curtain and Slurry (WS)	C-Farm D-Farm	Deep-pit manure with slats	Mechanical ventilation (winch-curtain)

1.2 측정기기

1.2.1 Low Volume Air Sampler

지정악취물질 중 암모니아, 휘발성 저급지방산 시료는 Low Volume Air Sampler (Sibata, KP-100, Japan)를 사용하여 채취하였다. 임핀저(Sibata, SPC24, Japan)가 부착된 샘플러의 유속과 시간은 각각 MFC (Mass Flow Control)와 타이머를 사용하여 흡입 펌프의 유속을 10 L/min로 조절하였다.

1.2.2 진공흡입상자

황화합물 시료는 진공흡입상자(Supelco, 10642, USA)를 사용하여 Polyester Aluminum Sampling Bag (BMS, 5 L, Japan)으로 채취하였다. 이 채취 장치는 시료가 Bag에 채워지면 자동으로 멈추도록 설치되어 있으며, 흡입 펌프의 유속은 2 L/min이 되도록 조절하였다.

1.2.3 UV-Visible Spectrophotometer

암모니아 성분은 인도페놀법으로 분석하였고, 발색 시료용액의 흡광도는 UV-Visible Spectrophotometer (Biochrom, Libra-S22, UK)를 사용하여 640 nm 파장에서 측정하였다.

1.2.4 Gas Chromatography

황화합물과 휘발성 저급지방산 성분들을 분석하기 위하여 각각 GC/FPD (Shimadzu, 2010, Japan)와 GC/MSD (PerkinElmer, Clarus 680/600T, USA)를 사용하여 분석하였다.

2. 약취물질 분석

2.1 암모니아 채취 및 분석

암모니아는 용액흡수법으로 암모니아 흡수용액(0.5% Boric acid) 10 mL를 넣어 2개의 임핀저(200 mL)를 직렬로 연결시키고, 흡입펌프(Sibata, KP-100, Japan)를 사용하여 10 L/min 유속으로 5분 간 총 50 L의 공기시료를 채취하였다. 흡수용액은 부피플라스크에서 50 mL로 희석한 후 이를 분석용 시료로 사용하였다. 이 흡수액 10 mL에 페놀펜타시아노트로실철(III)산 나트륨과 차아염소산나트륨을 각각 5 mL를 가하여 인큐베이터를 이용하여 25℃에서 1시간 동안 발색시킨 후 640 nm에서 흡광도를 측정하여 정량 분석하였다(Figure 1).



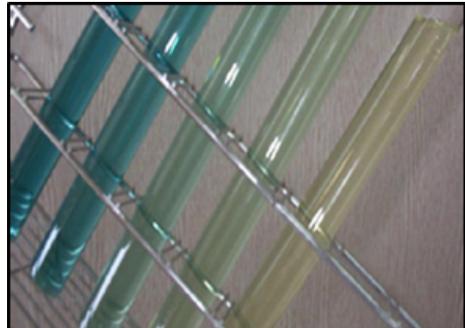
Adding sample 10 mL



Phenol with Sodium nitroprusside (III) 5 mL and NaOCl 5 mL



UV-Visible 640 nm



Waiting for 60 minutes at 25°C

Figure 1. Analytical procedure of ammonia.

2.2 황 화합물 채취 및 분석

황화합물 성분은 황화수소(H_2S), 메틸머캅탄(CH_3SH), 이황화메틸(DMS), 이황화이메틸(DMDS)은 Polyester aluminum sampling bag (BMS, 5 L, Japan)과 진공흡입상자(Supelco, 10642, USA)를 이용하여 간접흡입방식으로 채취하였고, 2 L/min의 유속으로 5분 간, 총 5 L의 공기시료를 포집하였다. 채취된 시료는 상온 유지와 직사광선을 피하여 24 시간 이내에 분석을 실시하였다.

황화합물 시료분석은 Thermal Desorber System (Markes International, Unity2™ -Air Server, UK)이 부착된 GC를 이용하여 분석하였고, 이때 기기조건은 Table

2에 수록하였다. 채취된 시료는 -15°C 에서 응축시킨 후, 이를 250°C 에서 열탈착시켜 GC에 주입하였고, 불꽃광도검출기가 부착된 GC-FPD (Shimadzu, 2010 plus, Japan)로 분석하였다(Figure 2).



Figure 2. Gas Chromatograph equipped with Flame Photometric Detector.

Table 2. Instrumental conditions for the analysis of sulfur compounds.

Instrument	Operation Conditions	
Thermal Desorber (Unity2 TM -Air Server)	Sampling flow	50 mL/min
	Sampling time	10 min
	Coldtrap	Hydrogen Sulphide
	Coldtrap low temperature	-15°C
	Coldtrap high temperature	250°C
	Coldtrap hold time	5 min
GC/FPD (GC-2010 plus)	Column information	Varian CP-SIL 5CB (60 m \times 0.32 mm \times 5 μm)
	Initial temperature	50°C (7 min)
	Temperature Rate	$10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ to 280°C
	Final temperature	280°C (5 min)
	Detector temperature	300°C

2.3 휘발성 저급지방산 채취 및 분석

휘발성 저급지방산 Propionic acid (PA), *n*-Butyric acid (*n*-BA), *n*-Valeric acid (*n*-VA), *iso*-Valeric acid (*iso*-VA) 역시 암모니아 성분과 동일한 방식인 용액흡수법으로 시료를 채취하였다. 흡수용액은 0.1 M 수산화나트륨용액을 사용하였고, 흡수용액을 채운 임핀저에 흡입펌프(Sibata, KP-100, Japan)를 연결하여 10 L/min 유속으로 5분 간, 총 50 L의 공기를 포집하였다. 그리고 2개의 임핀저에 채취한 흡수용액은 부피플라스크에 옮긴 후 최종적으로 50 mL로 희석하여 분석용 시료로 사용하였다. 이 때 흡수병 내부를 흡수용액으로 씻어 시료에 포함시켰다.

휘발성 저급지방산은 Headspace System (PerkinElmer, Turbomatrix 40, USA) 이 분착된 GC/MSD로 분석하였다. 용액흡수법으로 채취한 흡수액 5 mL를 바이알에 옮겨 염화나트륨 1.78 g, 2% H₂SO₄ 1 mL를 가하여 pH 1.0으로 조절한 후 PTFE/Silicone septum으로 밀봉하였다. 그리고 Headspace System에서 90°C로 20분 간 교반한 후, 바이알 상층부의 기체상 지방산을 GC/MSD (PerkinElmer, Clarus 600T, USA)에 주입하여 정량분석을 하였다(Figure 3). 이때 시료의 Headspace system 및 GC/MSD 분석조건은 Table 3과 같다.

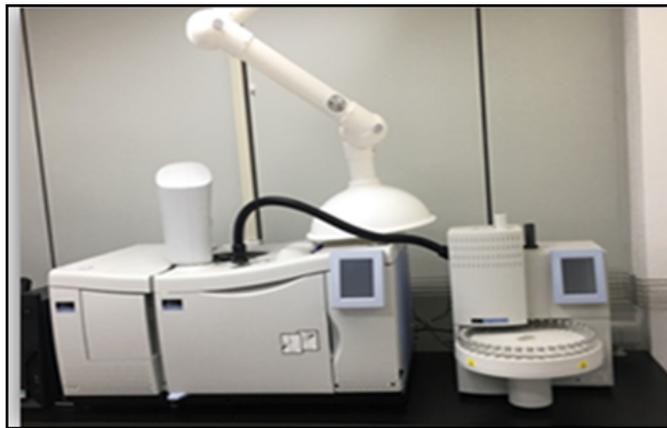


Figure 3. Gas Chromatograph equipped with Mass Selective Detector

Table 3. Instrumental conditions for the analysis of volatile fatty acids.

Instrument	Operation Conditions	
Headspace System (TurboMatrix 40)	Vial oven temperature	90 °C
	Injection time	0.15 min
	Pressurizing time	3 min
	Thermo starting time	20 min
	Vial pressure	45 psi
GC/MSD (Clarus 680 / Clarus 600T)	Column information	Elite-Wax (60 m × 0.32 mm × 0.5 μm)
	Injector temperature	250 °C
	Initial temperature	50 °C(3 min)
	Temperature rate	15 °C/min to 220 °C
	Final temperature	220 °C(10 min)
	Detector temperature	230 °C

2.4 분석 데이터 신뢰도 평가

분석 데이터의 신뢰도는 방법검출한계(Method detection limit, MDL)를 구하여 평가하였다. MDL은 암모니아, 황화합물, 휘발성 저급지방산의 0.4 μg/mL, 1.0 nmol/mol, 0.1 μg/mL 표준용액 각각을 7회 반복 분석하여 표준편차를 구하고 이 값에 Student-t (3.143)를 곱하여 98% 신뢰수준으로 측정하였다. 또한 데이터의 재현성 확인은 7회 반복 분석한 데이터로부터 변동계수(Coefficient of variation, CV)를 구하여 확인하였고, 이렇게 구한 분석 데이터의 방법검출한계와 변동계수를 Table 4에 수록하였다.

$$\text{표준편차(standard deviation) } S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

$$\text{변동계수(coefficient of variation) } CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$MDL = S \times 3.143 \text{ (98\% confidence level, } n=7)$$

Table 4. Method detection limit (MDL) and coefficient of variation (CV) for the analysis of odorous compounds (n=7)

Compounds	MDL	CV (%)
Ammonia (NH ₃)	28.0 ppb	1.9
Hydrogen sulfide (H ₂ S)	0.611 ppb	1.8
Methyl mercaptan (CH ₃ SH)	0.751 ppb	2.9
Dimethyl sulfide (DMS)	0.104 ppb	3.8
Dimethyl disulfide (DMDS)	0.048 ppb	1.6
Propionic acid (PA)	21.0 ppb	2.8
<i>n</i> -Butyric acid (<i>n</i> -BA)	34.0 ppb	3.8
<i>iso</i> -Valeric acid (<i>iso</i> -VA)	20.0 ppb	2.8
<i>n</i> -Valeric acid (<i>n</i> -VA)	21.0 ppb	3.2

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 돈사 농장별 악취물질 농도

1.1 암모니아 농도

암모니아(Ammonia, NH_3)는 국내 악취방지법에서 지정한 22종 악취물질 가운데 가장 대표적인 연구대상 물질이다(kim and choi, 2013). 암모니아는 대부분의 악취물질이 수 ppb 수준의 극미량에서 감지가 가능한 것에 비해 상대적으로 높은 감지 한계를 나타낸다(김기현 등, 2005).

암모니아 성분은 표준상태에서는 안정하고 발화의 위험성은 적지만 인체에 고농도로 장기간 노출되면 각종 부작용을 유발한다(이종국, 2011). 암모니아는 약 100 ppm의 농도에서 눈, 코 및 피부에 자극을 일으키며, 400 ppm 이상의 농도에서는 장기간 노출 시에 불안정, 흉부압박감 등의 증상을 유발한다. 그리고 1,500 ppm 이상에서는 기침과 입에 거품을 머금으며 5,000 ppm의 고농도에서는 호흡 곤란, 기관지질환 등에 의해 심하면 사망에 이를 수도 있다(김소진 등, 1997; 류희욱 등, 2003; Muehling 1970). 국내에서는 암모니아가 고농도로 배출되는 작업 환경에서 TWA (Time Weighted Average Concentration) 28 ppm (18 mg/m^3)을 적용하고 있다.

암모니아는 가축 체내의 장에서 형성되어 간에서 요소로 전환된다. 소변이 분 성분과 접촉하게 되면 요소는 분에 존재하는 세균의 요소분해 효소에 의해 암모늄으로 전환이 된다. 또 다른 발생원으로는 분에 존재하는 미생물의 분해에 의해 생성된 질소화합물로 소화가 불충분하게 이루어진 사료나 분뇨로 배설된 질소 등에 의해 만들어진다(이은영, 2010). 이러한 가축사료의 단백질이 돼지분뇨 질소 계열의 주 요인이며, 분뇨 내에서는 암모니아와 유기질소로 존재한다. 미국 EDF (The Environmental Defense Fund) 연구결과에 의하면 돼지분뇨의 질소계열 중 약 80%가 암모니아로 기화되는 것으로 보고되었다(이하영, 2003; Klarenbeek

and Bruins, 1998).

제주지역 양돈장에서 돈사 환기방식이 무창형방식과 윈치커튼형방식인 4개 양돈장의 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 내부 정중앙에서 시료를 채취하였으며, 분석한 암모니아 농도 결과를 Figure 4와 Table 5~6에서 상호 비교하였다. 4개 양돈장에서 각 돈사별로 구분하여 농도를 비교한 결과에서는 자돈사의 농도가 4.8~15.0 ppm, 육성돈사 6.5~14.7 ppm, 비육돈사 4.5~17.3 ppm의 범위로 육성돈사의 평균농도가 9.7 ppm으로 높았고, 자돈사 9.4 ppm, 비육돈사 9.2 ppm으로 조사되었다.

각 농장별로 구분하여 NH₃ 성분 농도를 비교한 결과에서 A-농장의 자돈사 농도가 7.0 ppm, 육성돈사 10.6 ppm, 비육돈사 10.8 ppm을 보였다. 이때 자돈사 6~8월에 농도가 낮은 것으로 확인되었는데, 그 이유는 여름철 시료채취 시 내부 온도가 높아져 환기팬 효율 증가로 인해 내부 공기가 빠르게 외부로 배출되어 농도가 낮아진 것으로 사료된다. B-농장에서는 NH₃ 농도가 자돈사 6.6~21.6 ppm, 육성돈사 1.8~22.4 ppm, 비육돈사 1.5~25.2 ppm의 범위를 나타내었으며, 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 각각 11.0, 9.3, 10.2 ppm의 농도를 보였다. 이 때 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 모두 10월에 일시적으로 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 타 미생물제제 사용으로 인한 피트 하부 분뇨 발효로 인하여 농도가 증가한 것으로 확인되었다.

그리고 C-농장의 NH₃ 농도는 자돈사 10.5 ppm, 육성돈사 10.6 ppm으로 비슷한 농도를 보였으며, 비육돈사는 11.6 ppm을 나타내었다. 자돈사, 육성돈사 7월에 암모니아 농도가 현저하게 낮게 조사되었는데, 그 이유는 시료 채취 전 돈사 내부 물청소로 인하여 농도가 낮은 것으로 사료된다. D-농장에서는 NH₃의 농도가 자돈사 5.1~13.9 ppm (9.2 ppm), 육성돈사 5.1~12.4 ppm (8.4 ppm), 비육돈사 1.6~5.9 ppm (4.4 ppm)의 농도를 보였다. 이때 D-농장의 농도는 A, B, C-농장과 반대로 비육돈사에서 낮은 농도를 보이는 것으로 확인되었는데, 그 이유는 자돈사와 육성돈사에 비해 돼지 사육수가 적어 낮은 농도를 보이는 것으로 사료된다. 그리고 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 모두 9월부터 농도가 증가하는 추세를 보였다. 이러한 이유는 시료 채취 전에 외부 온도차로 인하여 윈치가 계속 닫힌 상태로 습도가 높아지고, 내부 공기가 순환되지 않아 농도가 높아진 것으로 판단

된다.

돈사환기 방식별로 구분하여 NH₃ 농도를 비교한 결과, 원치커튼형방식에서 자돈사의 평균농도는 9.9 ppm으로 무창형방식의 자돈사 평균농도인 9.0 ppm에 비해 상대적으로 높은 농도를 보였다. 반면에 육성돈사와 비육돈사에서는 무창형방식이 원치커튼형방식보다 높은 농도를 나타내는 것으로 확인되었다. 이때 자돈사에서 원치커튼형방식의 평균농도가 높은 이유는 봄철과 가을철 측정 당시 돈사 외부온도가 낮아 돼지 폐사 방지를 위해 외창을 밀폐하였기 때문에 농도가 증가한 것으로 판단된다.

송정민(2014) 연구결과에서는 무창형방식과 원치커튼형방식의 비육돈사에서 암모니아 농도가 각각 18.5, 20.3 ppm의 결과와 비교한 결과에서는 본 연구결과의 암모니아 농도가 각각 10.5, 8.0 ppm으로 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 위의 결과들을 종합해보면 4개의 양돈장에서 채취한 암모니아 농도는 악취공정시험법 배출허용기준인 2 ppm에 비해 농도가 높았고, 이는 암모니아 성분이 양돈장에서 발생하는 주요 악취물질인 것으로 판단된다.

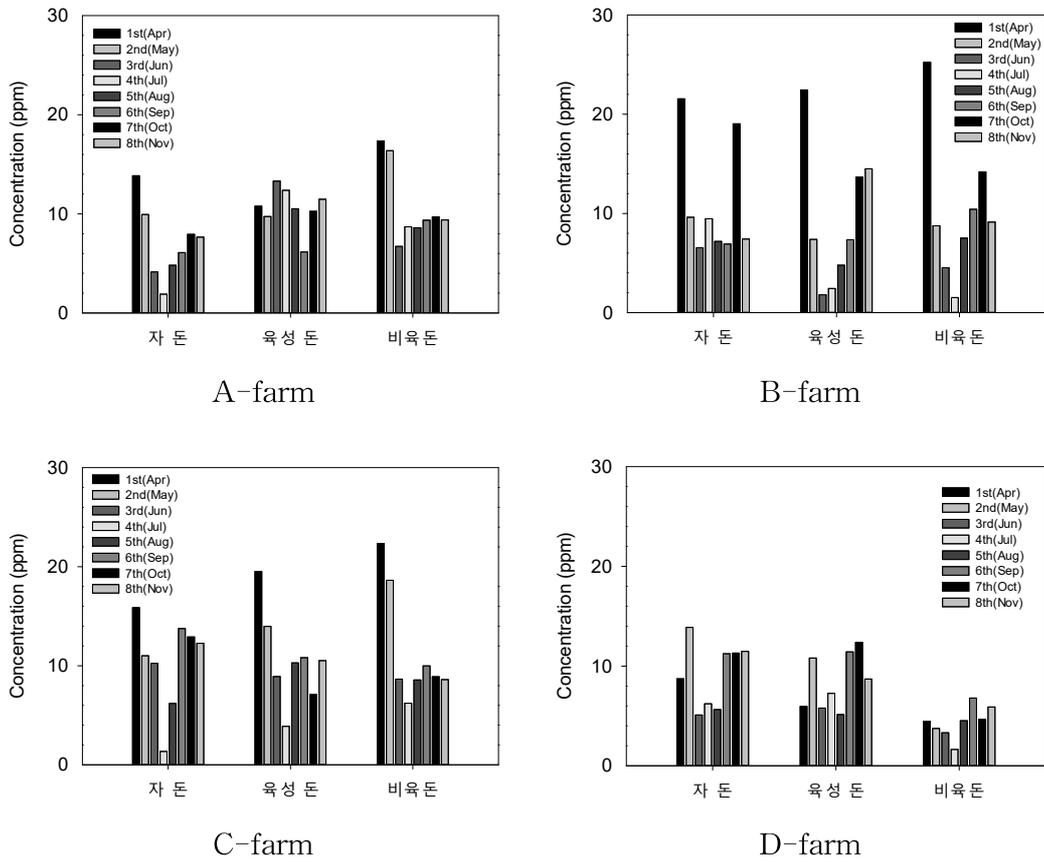


Figure 4. Comparison of ammonia concentrations in four swine farms.

Table 5. Concentrations of ammonia in four swine farms.

Sample	Concentration (ppm)									Mean	SD
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	13.8	9.9	4.1	1.9	4.8	6.1	7.9	7.7	7.0	3.5
	GR	10.8	9.7	13.3	12.4	10.5	6.2	10.3	11.5	10.6	2.0
	FR	17.4	16.4	6.7	8.7	8.6	9.4	9.7	9.4	10.8	3.6
B	WR	21.6	9.6	6.6	9.5	7.2	6.9	19.0	7.4	11.0	5.5
	GR	22.4	7.4	1.8	2.4	4.8	7.4	13.7	14.5	9.3	6.6
	FR	25.2	8.8	4.5	1.5	7.5	10.4	14.2	9.1	10.2	6.7
C	WR	15.9	11.0	10.3	1.4	6.2	13.8	12.9	12.3	10.5	4.3
	GR	19.5	14.0	8.9	3.9	10.3	10.8	7.1	10.5	10.6	4.3
	FR	22.3	18.6	8.7	6.2	8.6	10.0	8.9	9.6	11.6	5.3
D	WR	8.7	13.9	5.1	6.2	5.6	11.2	11.3	11.5	9.2	3.1
	GR	6.0	10.8	5.8	7.3	5.1	11.4	12.4	8.7	8.4	2.6
	FR	4.4	3.7	3.3	1.6	4.5	6.8	4.6	5.9	4.4	1.5
Mean	WR	15.0	11.1	6.5	4.8	6.0	9.5	12.8	9.7	9.4	3.3
	GR	14.7	10.5	7.5	6.5	7.7	9.0	10.9	11.3	9.7	2.5
	FR	17.3	11.9	5.8	4.5	7.3	9.25	9.4	8.5	9.2	3.7

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 6. Concentrations of ammonia in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppm)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	7.0	11.0	10.5	9.2	9.0	9.9
GR	10.6	9.3	10.6	8.4	10.0	9.5
FR	10.8	10.2	11.6	4.4	10.5	8.0

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.2 황화합물

황화합물 성분 중 우리나라 악취공정시험방법에는 황화수소(H_2S), 메틸머캅탄(CH_3SH), 이황화메틸(DMS), 이황화이메틸(DMDS) 등 4가지 성분들을 지정하여 관리하고 있다. 특히 황화수소는 자극성이 심하고 썩은 달걀냄새를 유발하는 무색 기체로 높은 농도에서 쉽게 후각의 피로를 느끼는 특성이 있다. 혐기성 상태 일 때 많이 발생하는 메틸머캅탄은 무색의 기체로 마늘냄새, 썩은 양배추 냄새를 유발하며 물에 쉽게 녹는 특성이 있다. 그리고 이황화메틸은 노란색의 기체물질로 부패한 냄새, 가솔린, 불쾌한 냄새를 유발하며, 이황화이메틸은 썩은 냄새, 불쾌한 냄새, 마늘 냄새를 유발한다. 특히, 황화수소는 저농도에서는 독성, 부식성, 불쾌감을 유발하며, 유독가스의 지표가 된다는 점 때문에 대기 배출을 엄격하게 규제하고 있다(양성봉 등, 2003).

황화수소는 자극성 기체로 일평균 10 ppbv 이상의 농도가 되면 눈과 코가 따갑고 목에 통증을 유발한다. 미국 ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)에서 흡입시를 최소위험농도(Minimum risk level, MRL)를 30 ppbv로 규정하고 있고, 낮은 농도에서도 독성이 강하여 두통, 현기증, 흥분 등을 일으킬 수 있다. 고농도로 흡입할 경우, 산화 효소의 파괴로 세포의 내부 호흡이 멈추며 중추 신경이 마비되어 실신하거나 호흡 정지 및 질식 증상이 나타난다. 또 다른 악취 성분들과 달리 아주 낮은 농도에서도 감지되며, 1,000 ppm 정도에서는 즉시 의식을 잃거나 사망 할 수도 있다(안민호., 2010; Muehling, 1970).

돈사 내 주요 유해 악취물질인 황화합물은 세균에 의해 발생되며, 그 기작은 황산염의 환원과정과 황을 함유한 아미노산의 대사과정에 의해 생성된다. 황산염의 환원은 동화작용과 이화작용에서 모두 일어나며, 이 중 동화작용에서는 세포의 생합성을 위해 충분한 양의 환원형 황을 생성한다. 반면에 이화작용에선 황산염을 최종전자수용체로 이용하여 대량의 황화합물을 생성한다(이은영과 임정수, 2010; Hao *et al.*, 1996).

이처럼 여러 가지 작용으로 발생하는 황계열 악취물질인 황화수소(H_2S), 메틸머캅탄(CH_3SH), 이황화메틸(DMS), 이황화이메틸(DMDS)의 농도를 4개 양돈장에서 간접흡입방식으로 시료를 채취하였으며, 그 결과를 Figure 5~7과 Table 7~12에 나타내었다.

1.2.1 황화수소 농도

제주지역 양돈장에서 자돈사, 육성돈사, 비육돈사의 내부 정중앙에서 간접흡입방식을 이용하여 황화수소(H_2S) 시료를 채취하였으며, 그 결과를 Figure 5와 Table 7~8에 나타내었다. H_2S 의 평균농도를 돈사별로 비교한 결과 자돈사, 육성돈사, 비육돈사의 H_2S 농도가 각각 134.8~404.9 ppb, 587.7~1,126.3 ppb, 423.7~945.8 ppb의 범위로 육성돈사에서 H_2S 의 평균농도가 195.5 ppb로 높은 농도를 나타내었다.

각 농장별 H_2S 의 평균농도를 확인해 본 결과, A-농장에서 자돈사 310.5 ppb, 육성돈사 1,820.4 ppb, 비육돈사 1,745.4 ppb을 보였다. 월별로 H_2S 의 농도를 비교한 결과에서 육성돈사 9월과 비육돈사 11월에 농도가 급격히 증가하였는데, 이는 시료 채취 시 돈사 피트 상단에 분양이 다른 채취일에 비해 증가하여 농도가 높은 것으로 판단된다.

B-농장의 H_2S 농도는 자돈사 116.0~232.2 ppb, 육성돈사 434.1~1,193.2 ppb, 비육돈사 110.9~531.7 ppb의 범위로 육성돈사에서 886.1 ppb로 가장 높았고, 그 다음으로 비육돈사 394.6 ppb, 자돈사 170.2 ppb 순으로 확인되었다. Figure 5의 결과를 보듯이, 비육돈사의 H_2S 농도가 5월에 낮았는데, 이는 시료채취 당시 돼지출하로 인한 사육두수 20% 감소로 농도가 낮아진 것으로 보인다.

C-농장의 H_2S 평균농도는 자돈사 86.0 ppb, 육성돈사 38.1 ppb, 비육돈사 36.1 ppb로 다른 농장들에 비해 상대적으로 낮은 농도를 나타내었는데, 이는 H_2S 발생이 다른 농장들에 비해 적게 일어나기 때문이라고 예상된다. 또한 8월부터 H_2S 의 농도가 증가한 이유는 농장 자체 요인으로 인하여 미생물체재 공급이 원활하지 못한 것으로 사료된다.

D-농장에서는 자돈사의 농도가 213.4~824.1 ppb의 범위를 나타내었으며, 육성돈사 166.9~564.6 ppb, 비육돈사 55.3~391.0 ppb의 농도 범위를 보였다. 이들 돈사들의 H_2S 평균농도는 각각 377.2, 352.8, 254.2 ppb의 수치로 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 순으로 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 그리고 모든 돈사에서 8월과 9월에 일시적으로 농도가 증가하였는데, 그 이유는 분뇨 순환 시스템 가동 중단으로 인하여 피트 하부의 분뇨 발효로 H_2S 의 농도가 증가한 것으로

추정된다.

이처럼 4개 농장 모두 악취공정시험법 배출허용기준(60 ppb)보다 높은 농도를 보이는 것으로 확인되었고, 이는 양돈장 내에서 발생하는 주요 악취물질로 판단되며, 관리가 필요할 것으로 사료된다. 또한 H₂S 평균농도를 돈사환기 방식별로 비교한 결과에서는 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 모두 무창형방식이 원치커튼형방식에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 이러한 이유는 H₂S 성분이 다른 계열 성분들에 비해 무창형방식에서 황화수소의 비중이 공기보다 무겁기 때문에 외기로의 배출이 원활하지 못하기 때문이다. 또한 가축시설 내부에서도 하부에서 농도가 더 높은 경향을 보이는 것으로 나타나는 것으로 알려져 있다 (전준민 등, 2007).

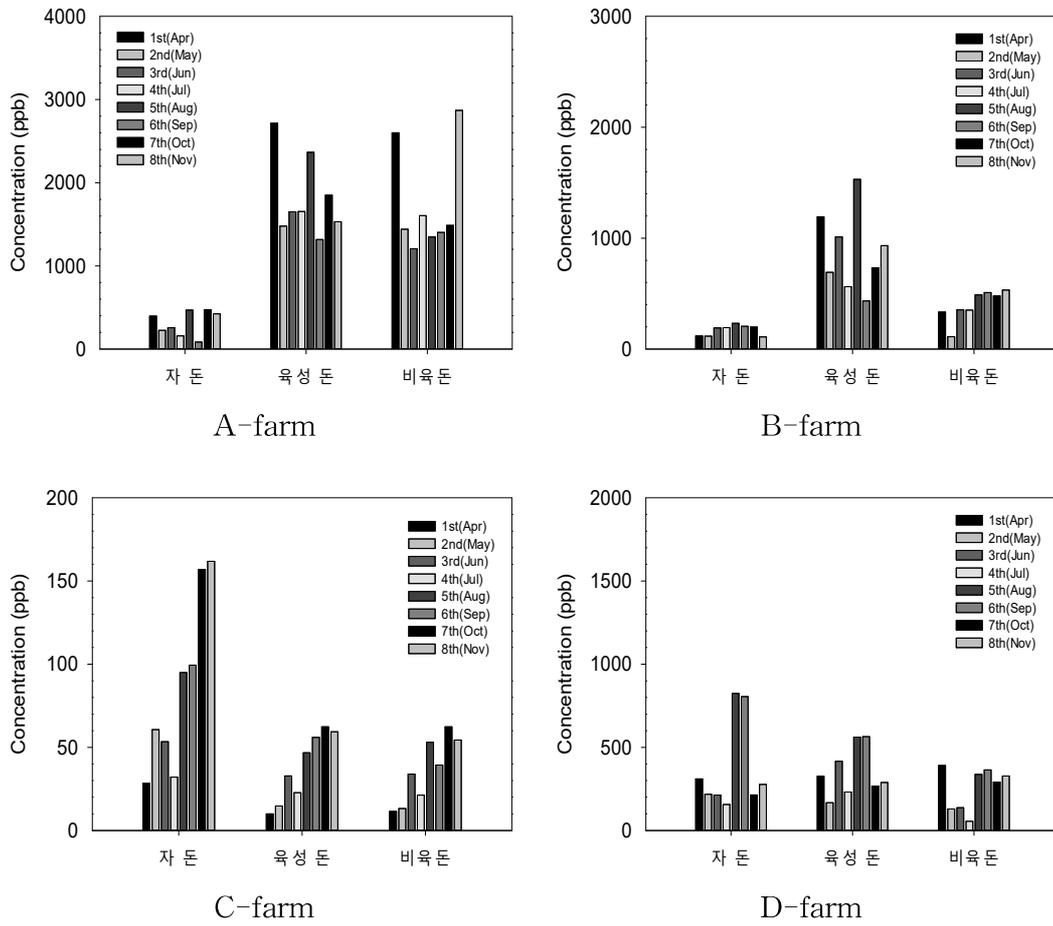


Figure 5. Comparison of hydrogen sulfide concentrations in four swine farms.

Table 7. Concentrations of hydrogen sulfide in four swine farms.

Sample	Concentration (ppb)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	396.2	225.1	256.5	157.8	468.3	83.9	473.7	422.8	310.5	139.8
	GR	2715.7	1478.0	1651.3	1653.8	2366.2	1316.8	1850.4	1531.1	1820.4	448.8
	FR	2600	1441	1207.4	1604.3	1349.3	1403.5	1487.8	2869.7	1745.4	584.9
B	WR	118.1	116.0	190.5	193.0	232.2	204.9	198.0	109.2	170.2	44.9
	GR	1193.2	691.3	1011.6	562.4	1530.5	434.1	733.1	932.7	886.1	335.0
	FR	333.5	110.9	353.3	351.4	488.9	509.0	478.2	531.7	394.6	130.2
C	WR	28.3	60.7	53.4	32.0	95.0	99.4	157.0	161.9	86.0	48.7
	GR	10.0	14.7	32.8	22.7	46.8	56.0	62.4	59.4	38.1	19.5
	FR	11.4	13.2	33.9	21.2	53.1	39.4	62.4	54.4	36.1	18.3
D	WR	310.3	217.8	213.4	156.5	824.1	805.1	214.0	276.6	377.2	256.2
	GR	326.3	166.9	416.4	231.0	561.7	564.6	267.2	288.4	352.8	138.8
	FR	391.0	129.5	137.1	55.3	337.8	364.5	291.1	327.3	254.2	119.1
Mean	WR	213.2	154.9	178.5	134.8	404.9	298.3	260.7	242.6	236.0	81.9
	GR	1061.3	587.7	778.0	617.5	1126.3	592.9	728.3	702.9	774.4	195.5
	FR	834.0	423.7	432.9	508.1	557.3	579.1	579.9	945.8	607.6	174.6

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 8. Concentrations of hydrogen sulfide in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppb)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	310.5	170.2	86.0	377.2	240.4	231.6
GR	1820.4	886.1	38.1	352.8	1353.3	195.5
FR	1745.4	394.6	36.1	254.2	1070.0	145.2

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.2.2 메틸머캅탄 농도

제주지역 4개 양돈장에서 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 내부에서 메틸머캅탄(CH₃SH) 시료를 채취하였고, 그 결과는 Figure 6과 Table 9~10에 상호 비교하였다. 각 돈사별 CH₃SH의 평균농도는 자돈사 10.3~22.7 ppb, 육성돈사 19.2~27.7 ppb, 비육돈사 9.1~19.0 ppb의 범위를 나타내었다. 이때 육성돈사의 평균농도가 23.5 ppb로 높은 농도를 보였으며, 그 다음으로 자돈사 16.0 ppb, 비육돈사 13.8 ppb 순이었다.

농장별로 구분하여 CH₃SH의 농도를 확인해 본 결과에서 A-농장의 CH₃SH 평균농도는 자돈사 22.2 ppb, 육성돈사 57.1 ppb, 비육돈사 17.9 ppb를 보였다. 이때 육성돈사의 CH₃SH 농도가 자돈사와 비육돈사에 비해 높았는데, 이는 육성돈사의 내부 습도가 증가로 인하여 농도가 높게 나타나는 것으로 사료된다.

B-농장의 자돈사는 1.5~6.3 ppb, 육성돈사 4.6~16.2 ppb, 비육돈사 3.0~19.1 ppb의 범위를 보였으며, 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 CH₃SH 평균농도는 각각 4.2, 12.3, 13.0 ppb를 나타내었다. 이들 돈사 중에서 자돈사가 육성돈사와 비육돈사에 비해 낮은 농도를 나타내었다. 이때 비육돈사 5월에 농도가 낮아진 것으로 확인되었는데, 그 이유는 시료채취 당시 돼지출하로 인한 사육두수 감소로 인하여 농도가 낮아진 것으로 추정된다.

C-농장의 CH₃SH 평균농도는 자돈사 24.1 ppb, 육성돈사 12.6 ppb, 비육돈사 14.1 ppb를 나타내었다. 육성돈사와 비육돈사에서는 자돈사에 비해 농도가 낮게 나타났으며, 그 이유는 시료 채취 시 자돈사 내부 습도가 높아 CH₃SH 농도가 증가한 것으로 사료된다. 그리고 D-농장에서는 CH₃SH는 자돈사 8.7~17.4 ppb (13.6 ppb), 육성돈사 8.7~15.3 ppb (12.1 ppb), 비육돈사 3.6~16.3 ppb (10.1 ppb)의 범위로 자돈사에서 높은 농도를 나타내었다.

이러한 결과들로부터 4개 농장의 CH₃SH 성분은 4개 농장의 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 모두 악취공정시험법 배출허용기준(4.0 ppb)보다 1.1~14.3배 높은 농도를 나타내는 것으로 확인되었고 주요 악취 물질인 것으로 사료된다.

환기방식에 따른 CH₃SH 농도 비교에서는 자돈사의 윈치커튼형방식이 무창형방식에 비해 농도가 1.5배 높았고, 육성돈사와 비육돈사에서는 무창형방식에서

각각 2.8배, 1.3배 높은 농도를 나타내었다. 이때 원치커튼방식의 자돈사에서 육성돈사와 비육돈사와 다른 경향으로 조사되었고, 이는 원치커튼방식의 자돈사에서 시료 채취 시 높은 습도로 인하여 농도가 증가한 것으로 판단된다.

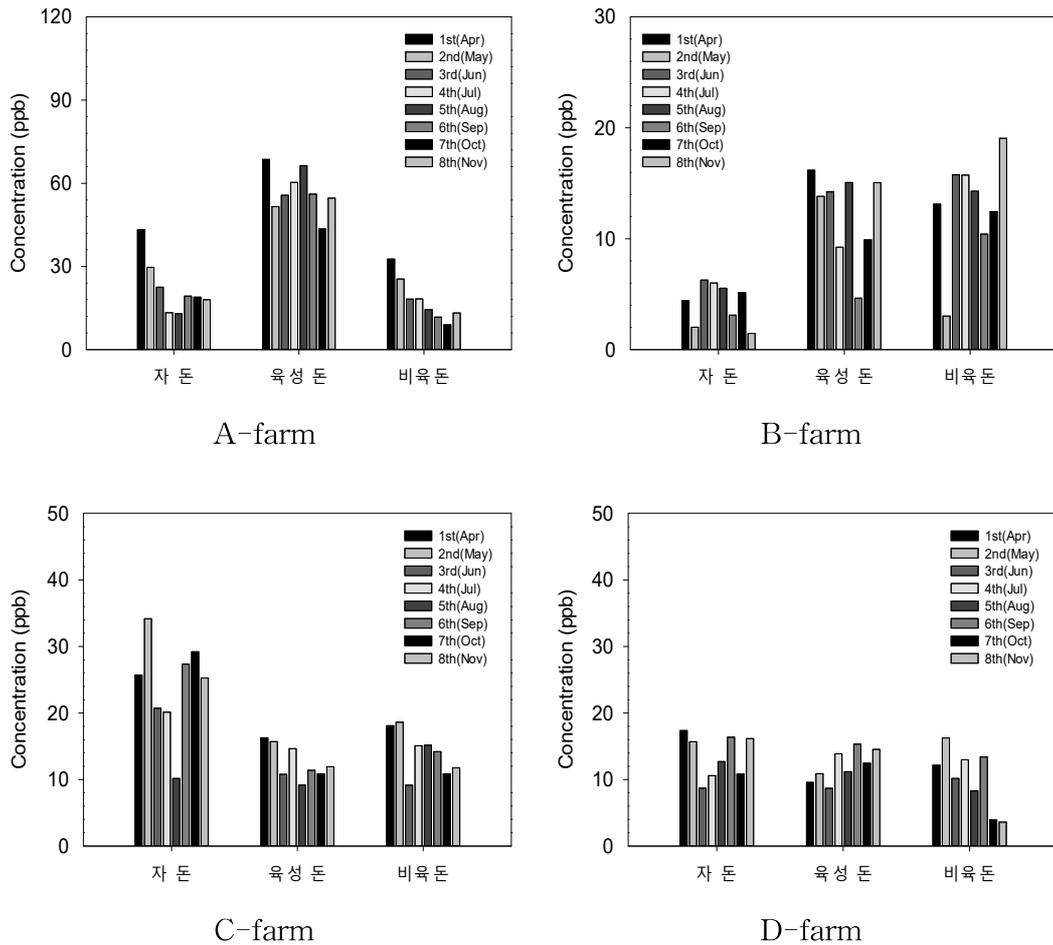


Figure 6. Comparison of methyl mercaptan concentrations in four swine farms.

Table 9. Concentrations of methyl mercaptan in four swine farms.

Sample	Concentration (ppb)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	43.2	29.7	22.5	13.3	12.9	19.3	18.9	18.0	22.2	9.4
	GR	68.6	51.6	55.7	60.3	66.4	56.1	43.5	54.7	57.1	7.5
	FR	32.7	25.5	18.2	18.3	14.5	11.7	9.0	13.2	17.9	7.3
B	WR	4.4	2.0	6.3	6.0	5.5	3.1	5.1	1.5	4.2	1.7
	GR	16.2	13.8	14.2	9.2	15.1	4.6	9.9	15.1	12.3	3.7
	FR	13.1	3.0	15.8	15.7	14.3	10.4	12.5	19.1	13.0	4.5
C	WR	25.7	34.2	20.7	20.1	10.2	27.4	29.2	25.3	24.1	6.7
	GR	16.3	15.7	10.8	14.7	9.2	11.4	10.9	11.9	12.6	2.4
	FR	18.1	18.6	9.2	15.1	15.2	14.2	10.9	11.8	14.1	3.1
D	WR	17.4	15.7	8.7	10.6	12.7	16.4	10.8	16.2	13.6	3.0
	GR	9.6	10.9	8.7	13.9	11.2	15.3	12.5	14.5	12.1	2.2
	FR	12.2	16.3	10.2	13.0	8.3	13.4	4.0	3.6	10.1	4.2
Mean	WR	22.7	20.4	14.6	12.5	10.3	16.5	16.0	15.2	16.0	3.7
	GR	27.7	23.0	22.4	24.5	25.4	21.9	19.2	24.0	23.5	2.4
	FR	19.0	15.8	13.3	15.5	13.1	12.4	9.1	11.9	13.8	2.8

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 10. Concentrations of methyl mercaptan in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppb)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	22.2	4.2	24.1	13.6	13.2	18.9
GR	57.1	12.3	12.6	12.1	34.7	12.4
FR	17.9	13.0	14.1	10.1	15.5	12.1

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.2.3 이황화메틸 농도

제주지역 4개 양돈장에서 2017년 4월부터 11월까지 자돈사, 육성돈사, 비육돈사의 내부 정중앙에서 이황화메틸(DMS) 시료를 채취하였고, 그 결과를 Figure 7과 Table 11~12에 나타내었다. 각 돈사별로 DMS의 평균농도는 자돈사 2.0~7.2 ppb, 육성돈사 3.5~7.8 ppb, 비육돈사 2.5~7.1 ppb의 범위로 육성돈사에서 6.8 ppb로 높은 농도를 나타내었다. Table 11의 결과와 같이 모든 돈사에서 분석된 농도 수준은 악취공정시험법 배출허용기준범위 10~50 ppb보다 훨씬 낮은 농도로 조사되었다.

농장별로 DMS 비교한 결과에서는 A-농장의 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 DMS 농도가 각각 5.0, 9.3, 4.5 ppb를 나타내었다. 그리고 B-농장의 DMS는 자돈사 0.5~2.3 ppb (1.3 ppb), 육성돈사 1.5~4.7 ppb (3.2 ppb), 비육돈사 1.3~5.7 ppb (3.4 ppb)로 육성돈사와 비육돈사에서 비슷한 수준의 농도를 보였다.

C-농장의 DMS 농도는 자돈사 11.6 ppb, 육성돈사 9.0 ppb, 비육돈사 8.9 ppb를 나타내었다. 이때 자돈사에서 9월부터 농도가 증가하였고, 이러한 결과는 시료 채취 시 미생물제제 공급중단으로 농도가 증가한 것으로 사료된다. D-농장에서는 자돈사 1.5~5.1 ppb, 육성돈사 1.3~4.3 ppb, 비육돈사 1.0~4.4 ppb의 범위로 보였고, DMS의 평균농도는 각각 3.2, 2.5, 2.7 ppb를 나타내었다.

위의 결과와 같이 4개 농장에서 DMS 농도가 악취공정시험법 배출허용기준(10~50 ppb)보다 낮은 것으로 보아 DMS 성분은 양돈장 내에서 발생하는 주요 악취물질이 아닌 것으로 판단된다.

돈사환기 방식에 따른 DMS 농도를 비교한 결과, 자돈사와 비육돈사에서는 원치커튼형방식이 무창형방식에 비해 높은 농도를 나타내었다. 반면에 육성돈사는 상대적으로 무창형방식에서 농도가 높은 것으로 조사되었다.

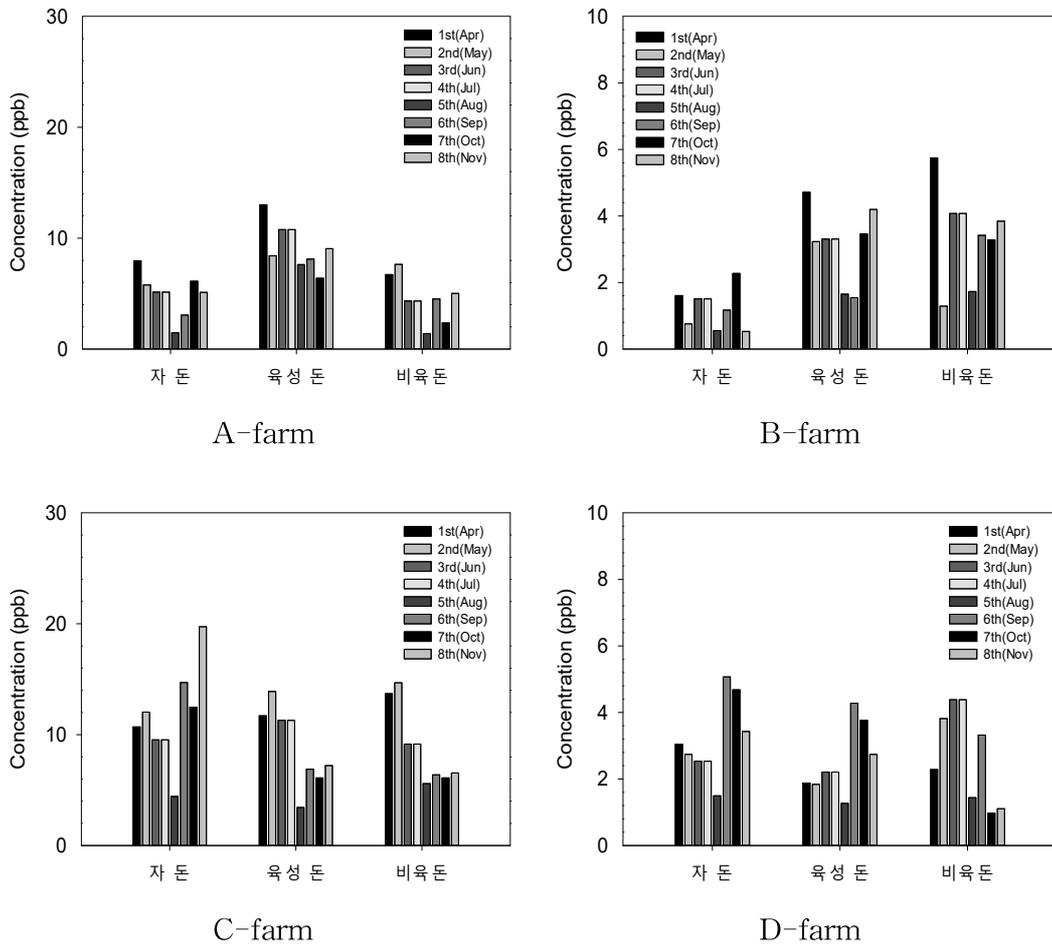


Figure 7. Comparison of dimethyl sulfide concentrations in four swine farms.

Table 11. Concentrations of dimethyl sulfide in four swine farms.

Sample	Concentration (ppb)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	8.0	5.8	5.1	5.1	1.5	3.1	6.1	5.1	5.0	1.8
	GR	13.0	8.4	10.8	10.8	7.6	8.1	6.4	9.1	9.3	2.0
	FR	6.7	7.6	4.3	4.3	1.4	4.5	2.3	5.0	4.5	1.9
B	WR	1.6	0.8	1.5	1.5	0.6	1.2	2.3	0.5	1.3	0.6
	GR	4.7	3.2	3.3	3.3	1.7	1.5	3.5	4.2	3.2	1.0
	FR	5.7	1.3	4.1	4.1	1.7	3.4	3.3	3.8	3.4	1.3
C	WR	10.7	12.0	9.5	9.5	4.4	14.7	12.5	19.7	11.6	4.1
	GR	11.7	13.9	11.3	11.3	3.4	6.9	6.1	7.2	9.0	3.3
	FR	13.7	14.7	9.2	9.2	5.6	6.4	6.1	6.6	8.9	3.3
D	WR	3.0	2.7	2.5	2.5	1.5	5.1	4.7	3.4	3.2	1.1
	GR	1.9	1.8	2.2	2.2	1.3	4.3	3.8	2.7	2.5	1.0
	FR	2.3	3.8	4.4	4.4	1.4	3.3	1.0	1.1	2.7	1.4
Mean	WR	5.8	5.3	4.7	4.7	2.0	6.0	6.4	7.2	5.3	1.5
	GR	7.8	6.8	6.9	6.9	3.5	5.2	5.0	5.8	6.8	1.3
	FR	7.1	6.9	5.5	5.5	2.5	4.4	3.2	4.1	4.9	1.5

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 12. Concentrations of dimethyl sulfide in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppb)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	5.0	1.3	11.6	3.2	3.2	7.4
GR	9.3	3.2	9.0	2.5	6.3	5.8
FR	4.5	3.4	8.9	2.7	4.0	5.8

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.2.4 이황화이메틸 농도

이황화이메틸(DMDS)는 모든 농장의 모든 돈사에서 농도가 검출한계 0.045 ppb 미만으로 ‘불검출’ 수준을 나타내었다. 이러한 DMDS 성분은 악취공정시험 방법에서 제시한 9 ppb의 배출허용기준을 훨씬 밑도는 수준으로 양돈시설에 발생하는 주요 악취물질이 아닌 것으로 예상된다. 이러한 결과는 송정민(2014), 이하영(2003)의 연구결과와 유사한 것으로 조사되었다. DMDS 뿐만 아니라 같은 황화합물 성분인 H_2S , CH_3SH , DMS 또한 제주지역 양돈장에서 시료를 채취, 분석한 송정민(2014)의 연구결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 확인되었다.

1.3 휘발성 저급지방산 농도

유기지방산은 탄소 수가 C2~C6인 저분자량의 카르복실산으로 대기압에서 쉽게 기화되기 때문에 volatile acids라고도 불린다. 이들은 물에 대한 용해도가 비교적 높고 보통 상온에서 액상으로 존재한다(Spina *et al.*, 2007; Sawyer *et al.*, 2003; Cruwys *et al.*, 2002). 지방산은 유기체의 생물학적 혐기성 분해 과정에서 생성되기 때문에 하수처리장, 활성슬러지, 쓰레기 매립장 침출수, 동물의 배설물, 유기체의 부패, 생활폐수 등에서 주로 배출된다(Yun and Ohta, 2005; Lie and Welander, 1997).

휘발성 저급지방산 중 formic acid, acetic acid, propionic acid는 자극적인 냄새, butyric acid와 valeric acid는 역겨운 냄새를 유발하며, 특히 butyric acid는 부패된 버터에서 발생하는 악취물질로 알려져 있다(Sawyer *et al.*, 2003). 이 중 propionic acid, *n*-butyric acid, *iso*-valeric acid, *n*-valeric acid 4종은 악취를 유발하는 대표적인 휘발성 저급지방산(volatile fatty acid, VFAs)이며, 2010년부터 지정악취물질로 지정되어 관리되고 있다. 이들 휘발성 저급지방산은 매우 낮은 최소감지농도를 가진 물질로서 악취공정시험법에서 배출허용기준도 수 ppmv 정도로, 환경학적으로 미량으로도 악취오염을 유발하는 주요 물질로 알려져 있다(Miller and Varel *et al.*, 2003).

돈사에서 발생하는 휘발성 저급지방산은 주로 탄수화물과 단백질의 분해 과정에서 아미노산의 탈아미노화(deamination) 반응에 의해 발생한다. 그리고 분뇨에서 발생하는 휘발성 저급지방산이 60% 정도가 acetic acid이고, 나머지 성분들은 propionic acid, *n*-butyric acid, *iso*-valeric acid, *n*-valeric acid 등으로 알려져 있다. 이 중 acetic acid, propionic acid, *n*-butyric acid은 탄수화물이 발효되어 생성되고, *iso*-valeric acid, *n*-valeric acid와 같은 이성체 지방산은 주로 단백질의 발효 과정에서 생성된다(이은영과 임정수, 2010; 이강훈 등, 2012; Spoelstra, 1980; Cooper and cornforth. 1978; McGill and Jackson, 1977).

본 연구에서는 2010년에 새롭게 지정악취물질에 포함된 propionic acid (PA), *n*-butyric acid (*n*-BA), *iso*-valeric acid (*iso*-VA), *n*-valeric acid (*n*-VA) 4종의 휘발성 저급지방산(VFAs)을 분석하였고, 그 결과를 Figure 8~11과 Table 13~20에 나타내었다.

1.3.1 프로피온산 농도

제주지역 4개 양돈장에서 각 돈사별로 프로피온산(propionic acid, PA) 시료를 채취하였고, 그 결과를 Figure 8과 Table 13~14에 나타내어 상호 비교하였다. PA의 평균농도는 자돈사 0.19~0.54 ppm, 육성돈사 0.49~0.69 ppm, 비육돈사 0.38~0.56 ppm의 범위를 보였으며, 육성돈사의 평균농도가 0.55 ppm으로 비육돈사(0.46 ppm)와 자돈사(0.37 ppm)에 비해 상대적으로 높은 것으로 조사되었다.

농장별로 구분하여 PA 성분을 비교한 결과, A-농장은 육성돈사에서 0.24~0.76 ppm (0.42 ppm)으로 농도가 높았고, 그 다음으로 비육돈사 0.39~0.72 ppm (0.35 ppm), 자돈사 0.12~0.26 ppm (0.26 ppm) 순으로 육성돈사에서 농도가 높았다. B-농장에서는 PA 농도가 육성돈사(0.59 ppm), 비육돈사(0.58 ppm), 자돈사(0.17 ppm) 순으로 육성돈사에서 높은 농도를 보였으며, 이는 A-농장과 유사한 경향을 나타내었다. 그리고 C-농장에서는 PA 성분이 비육돈사와 육성돈사에서 각각 0.68 ppm, 0.67 ppm으로 비슷한 수준의 농도를 보였고, 자돈사는 0.52 ppm으로 두 돈사에 비해 상대적으로 농도가 낮은 것으로 확인되었다. 이때 자돈사 4~6월에 높은 농도를 보였으며, 그 이유는 미생물제제의 공급이 원활하지 않아 일시적으로 농도가 높은 것으로 사료된다. 그러나 D-농장은 자돈사, 육성돈사, 비육돈사의 PA 농도가 각각 0.29~0.66 ppm (0.50 ppm), 0.25~0.71 ppm (0.53 ppm), 0.16~0.27 ppm (0.23 ppm)의 범위를 보였다. 이때 비육돈사의 농도가 육성돈사와 자돈사에 비해 농도가 약 2 배 이상 낮은 것으로 확인되었다. 그 이유는 비육돈사의 사육밀도가 다른 돈사들에 비해 크게 낮아 농도가 낮은 것으로 판단된다.

선정된 4개 양돈장의 모든 돈사에서 측정된 PA 성분의 농도 수준은 약취공정시험법 부지경계선 배출허용기준 0.07 ppm보다 2.4~9.7배 높게 나타났으며, 이러한 결과로부터 PA 성분은 양돈장에서 발생하는 주요 악취물질로 앞서 확인한 질소 및 황화합물과 함께 주요 악취물질인 것으로 판단된다.

돈사환기 방식별로 구분하여 PA 농도를 비교한 결과에서 자돈사와 육성돈사는 윈치커튼형방식에서 농도가 각각 0.51, 0.60 ppm으로 무창형방식에 비해 상대

적으로 농도가 높았다. 그리고 비육돈사에서는 무창형방식과 위치커튼형방식이 농도가 각각 0.47, 0.46 ppm으로 유사한 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 환기방식별 PA 성분의 농도비교에서는 대체적으로 원치커튼방식에서 PA 농도가 높게 나타났으며, 그 이유는 돈사 내부의 환기방식이 자연환기방식으로 강제순환 방식에 비해 내부 공기 순환이 상대적으로 적어 농도가 높은 것으로 사료된다.

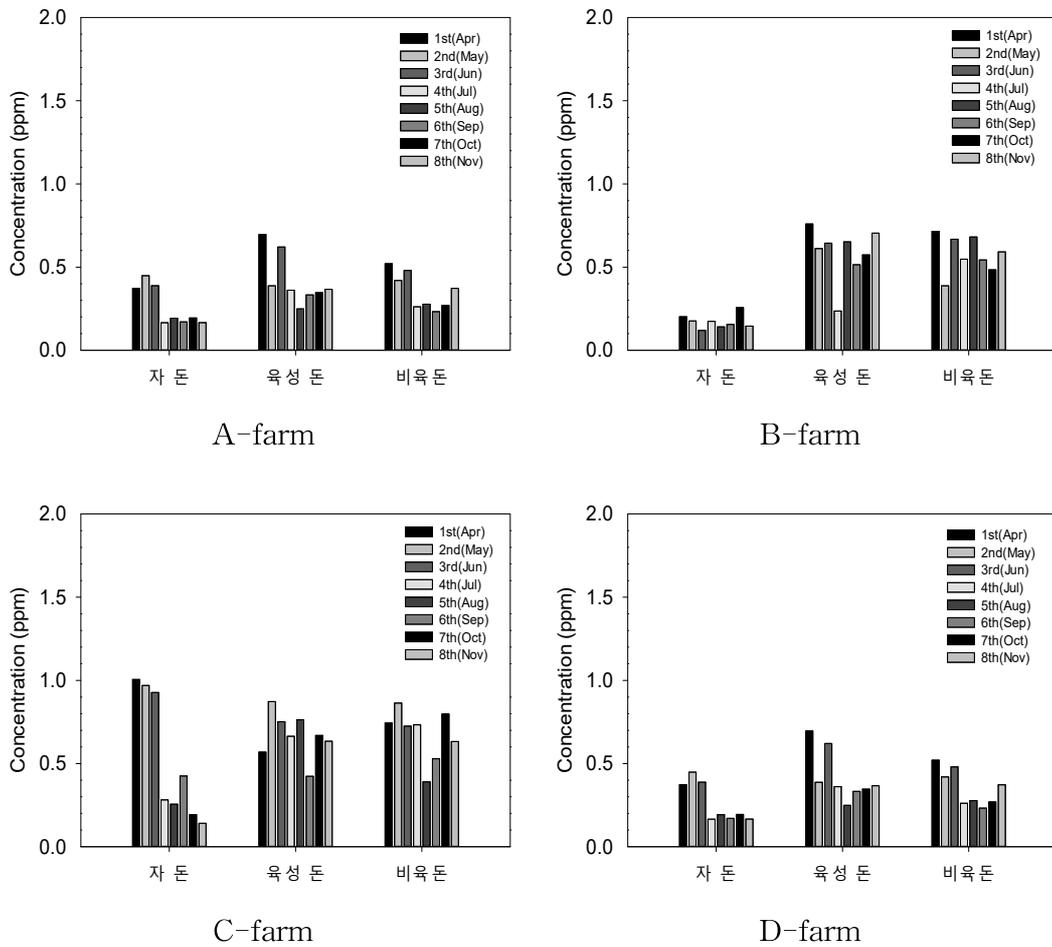


Figure 8. Comparison of Propionic acid concentrations in four swine farms.

Table 13. Concentrations of propionic acid in four swine farms.

Sample	Concentration (ppm)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	0.37	0.45	0.39	0.17	0.19	0.17	0.19	0.17	0.26	0.11
	GR	0.70	0.39	0.62	0.36	0.25	0.33	0.35	0.37	0.42	0.14
	FR	0.52	0.42	0.48	0.26	0.28	0.23	0.27	0.37	0.35	0.10
B	WR	0.20	0.18	0.12	0.17	0.14	0.16	0.26	0.14	0.17	0.04
	GR	0.76	0.61	0.64	0.24	0.65	0.51	0.57	0.70	0.59	0.15
	FR	0.72	0.39	0.67	0.55	0.68	0.54	0.48	0.59	0.58	0.10
C	WR	1.01	0.97	0.93	0.28	0.26	0.43	0.19	0.14	0.52	0.35
	GR	0.57	0.87	0.75	0.66	0.76	0.42	0.67	0.63	0.67	0.13
	FR	0.74	0.86	0.72	0.73	0.39	0.53	0.80	0.63	0.68	0.14
D	WR	0.37	0.57	0.53	0.49	0.65	0.66	0.47	0.29	0.50	0.12
	GR	0.40	0.89	0.71	0.58	0.37	0.56	0.49	0.25	0.53	0.19
	FR	0.24	0.25	0.26	0.24	0.17	0.27	0.21	0.16	0.23	0.04
Mean	WR	0.49	0.54	0.49	0.28	0.31	0.36	0.28	0.19	0.37	0.12
	GR	0.61	0.69	0.68	0.46	0.51	0.46	0.52	0.49	0.55	0.09
	FR	0.56	0.48	0.53	0.45	0.38	0.39	0.44	0.44	0.46	0.06

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 14. Concentrations of propionic acid in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppm)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	0.26	0.17	0.52	0.50	0.22	0.51
GR	0.42	0.59	0.67	0.53	0.51	0.60
FR	0.35	0.58	0.68	0.23	0.47	0.46

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.3.2 *n*-뷰티르산 농도

4개 양돈장에서 2017년 4월부터 11월까지 자돈사, 육성돈사, 비육돈사의 내부에서 *n*-뷰티르산(*n*-Butyric acid, *n*-BA) 시료를 채취하여 분석한 결과를 Figure 9와 Table 15~16에 나타내었다. *n*-BA의 평균농도는 육성돈사에서 0.38 ppm으로 높았고, 그 다음으로 비육돈사 0.34 ppm, 자돈사 0.27 ppm 순으로 농도를 보였다. *n*-BA 성분은 PA 성분과 유사한 결과 패턴을 보이는 것으로 조사되었다.

각 농장별로 *n*-BA의 농도를 비교한 결과에서 A-농장의 *n*-BA 농도는 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 각각 0.11~0.33, 0.18~0.56, 0.17~0.35 ppm의 범위로 육성돈사에서 높은 농도를 나타내었다. B-농장에서는 육성돈사와 비육돈사의 *n*-BA 농도가 각각 0.40, 0.42 ppm으로 비슷한 농도를 보였고, 자돈사는 0.13 ppm으로 비육돈사에 비해 약 3.2 배 농도가 낮은 것으로 확인되었다. 이때 육성돈사에서 6~8월에 농도변화가 다른 월에 비해 크게 나타났으며, 이는 6~8월에 시료 채취 시 돼지 출하로 인하여 사육두수가 감소하여 농도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

C-농장은 비육돈사 0.24~0.68 ppm (0.50 ppm), 자돈사 0.16~0.83 ppm (0.43 ppm), 육성돈사 0.28~0.54 ppm (0.40 ppm) 순으로 *n*-BA 농도가 비육돈사에서 높았다. 특히 4~6월에 자돈사에서 *n*-BA 농도가 높게 증가하였고, 이는 자돈사에 음용수로 공급되는 미생물제제가 한시적 중단으로 인하여 농도가 증가한 것으로 추정된다. 그리고 D-농장은 육성돈사에서 0.37 ppm으로 *n*-BA 농도가 높았고, 그다음으로 자돈사(0.33 ppm), 비육돈사(0.18 ppm)의 농도를 보였다. D-농장의 비육돈사에서 *n*-BA가 다른 돈사에 비해 농도가 2.0배 낮게 나타났으며, 이는 비육돈사의 낮은 사육밀도로 인하여 농도가 낮은 것으로 사료된다.

환기방식에 따른 *n*-BA 농도를 상호 비교해보면, 자돈사와 육성돈사는 원치커튼형방식에서 각각 0.38 ppm, 0.41 ppm으로 무창형방식에 비해 각각 2.4, 1.1배 높은 농도를 보였다. 그리고 비육돈사는 무창형방식과 원치커튼형방식에서 모두 0.34 ppm으로 비슷한 농도수준을 나타내었다. 이때 원치커튼형방식인 D-농장의 낮은 사육밀도로 인하여 원치커튼형방식에서 농도가 낮게 나타난 것으로 추정된다. 이로 인하여 원치커튼형방식이 무창형방식에 비해 농도가 높을 것으로 추정

된다.

위의 결과들로부터 각 농장별로 농도 수준을 확인한 결과에서는 4개 양돈장 모두 약취공정시험법 배출허용기준인 0.002 ppm 수준에 비해 대략 65~250배 높은 것으로 확인되었으며, 이는 양돈장 내에서 발생하는 주요 약취물질로 판단되며, 관리가 필요할 것으로 판단된다.

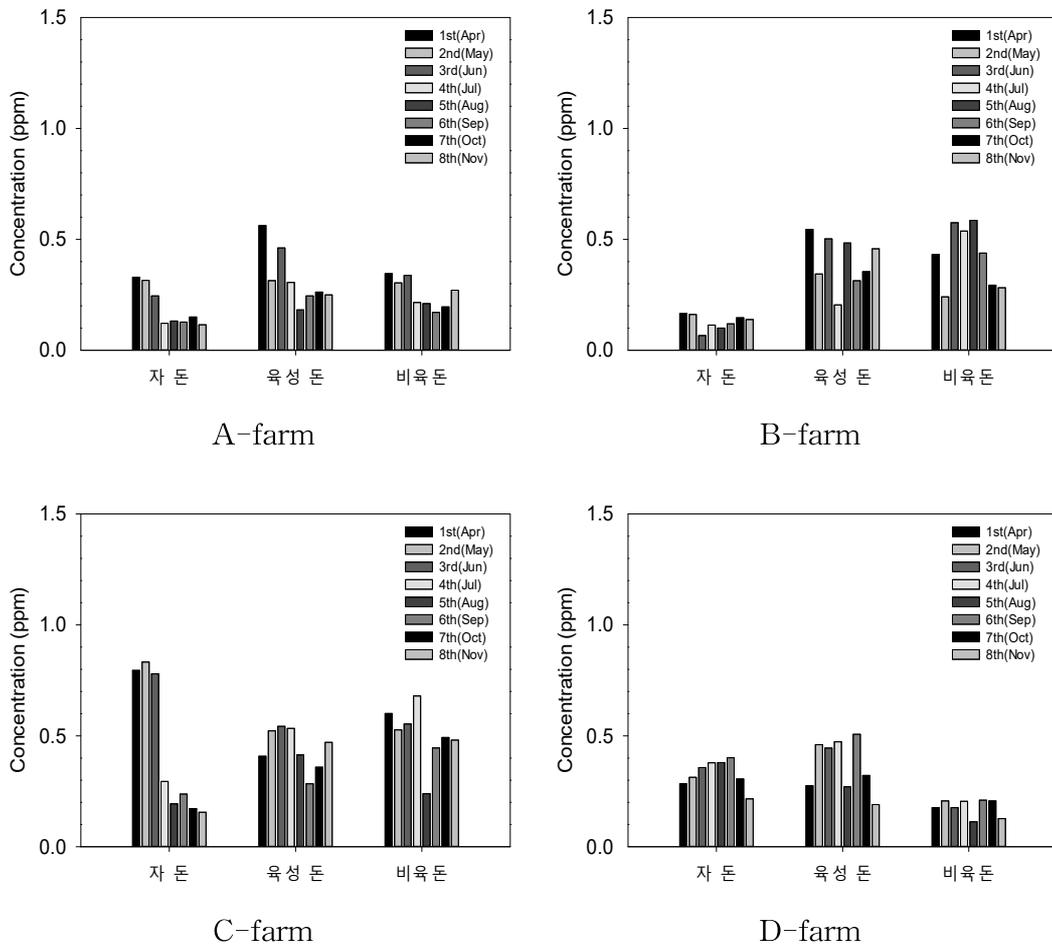


Figure 9. Comparison of *n*-butyric acid concentrations in four swine farms.

Table 15. Concentrations of *n*-butyric acid in four swine farms.

Sample	Concentration (ppm)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	0.33	0.32	0.24	0.12	0.13	0.13	0.15	0.11	0.19	0.09
	GR	0.56	0.31	0.46	0.31	0.18	0.24	0.26	0.25	0.32	0.12
	FR	0.35	0.30	0.34	0.22	0.21	0.17	0.20	0.27	0.26	0.06
B	WR	0.17	0.16	0.07	0.11	0.10	0.12	0.15	0.14	0.13	0.03
	GR	0.54	0.34	0.50	0.20	0.48	0.31	0.35	0.46	0.40	0.11
	FR	0.43	0.24	0.58	0.54	0.59	0.44	0.29	0.28	0.42	0.13
C	WR	0.80	0.83	0.78	0.29	0.19	0.24	0.17	0.16	0.43	0.29
	GR	0.41	0.52	0.54	0.53	0.41	0.28	0.36	0.47	0.44	0.09
	FR	0.60	0.53	0.55	0.68	0.24	0.45	0.49	0.48	0.50	0.12
D	WR	0.28	0.31	0.36	0.38	0.38	0.40	0.31	0.22	0.33	0.06
	GR	0.28	0.46	0.44	0.47	0.27	0.51	0.32	0.19	0.37	0.11
	FR	0.18	0.21	0.18	0.20	0.11	0.21	0.21	0.13	0.18	0.04
Mean	WR	0.40	0.41	0.36	0.23	0.20	0.22	0.20	0.16	0.27	0.09
	GR	0.45	0.41	0.49	0.38	0.34	0.34	0.32	0.34	0.38	0.06
	FR	0.39	0.32	0.41	0.41	0.29	0.32	0.30	0.29	0.34	0.05

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 16. Concentrations of *n*-butyric acid in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppm)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	0.19	0.13	0.43	0.33	0.16	0.38
GR	0.32	0.40	0.44	0.37	0.36	0.41
FR	0.26	0.42	0.50	0.18	0.34	0.34

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.3.3 *iso*-발레르산 농도

제주지역 4개의 양돈장에서 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 내부에서 시료를 채취하여 *iso*-발레르산(*iso*-valeric acid, *iso*-VA) 성분을 분석하였고, 그 결과를 Figure 10과 Table 17~18에 나타내었다. *iso*-VA의 농도는 자돈사 18.6~42.2 ppb, 육성돈사 34.2~46.9 ppb, 비육돈사 32.3~43.1 ppb의 범위를 보였고, 이 중 육성돈사에서 38.5 ppb로 다른 돈사에 비해 높은 농도를 나타내었다. 그리고 비육돈사는 37.0 ppb로 비슷한 수준의 농도를 보였고, 자돈사는 29.9 ppb로 농도가 다소 낮은 것으로 조사되었다.

각 농장별에 따른 *iso*-VA의 농도를 비교한 결과, A-농장에서 *iso*-VA의 농도는 자돈사에서 17.4~37.4 ppb, 육성돈사 25.1~40.0 ppb, 비육돈사 22.9~37.3 ppb의 범위를 보였고, 이들 돈사의 평균농도는 각각 26.0, 34.7, 29.9 ppb로 육성돈사에서 농도가 높게 나타났다. B-농장은 자돈사 13.7~25.8 ppb (19.8 ppb), 육성돈사 25.2~59.4 ppb (41.9 ppb), 비육돈사 33.3~61.7 ppb (47.7 ppb)의 범위로 비육돈사에서 *iso*-VA 농도가 자돈사에 비해 대략 2.4배 높은 것으로 조사되었다. 특히 7월에 육성돈사에서 농도가 감소하는 경향을 나타내었고, 그 이유는 시료 채취 당시 돼지 출하로 인하여 사육두수가 감소하여 농도가 낮아진 것으로 추정된다.

C-농장에서는 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 *iso*-VA 농도가 각각 42.0, 42.4, 45.6 ppb로 비슷한 농도 수준을 나타내었다. 이때 4~6월에 자돈사에서 농도가 증가하는 경향을 보였고, 이는 돈사에 공급되는 미생물제제의 공급 중단으로 농도가 증가한 것으로 추정된다. D-농장은 *iso*-VA의 농도가 육성돈사에서 35.0 ppb로 높은 농도를 보였고, 그 다음으로 자돈사(31.8 ppb), 비육돈사(24.7 ppb)순으로 나타내었다. 특히 D-농장에서 비육돈사에서 *iso*-VA 농도가 다른 농장들에 비해 낮은 경향을 나타내었고, 이는 비육돈사의 낮은 사육밀도로 인하여 농도가 낮은 것으로 판단된다. 위의 4개 양돈장에서 조사된 *iso*-VA의 농도 결과는 약취공정시험법 배출허용기준(4 ppb)보다 높은 수준의 농도를 보였으며, *iso*-VA 성분 또한 양돈장 내부에 관리에서 필요한 성분으로 조사되었다.

돈사환기 방식별로 *iso*-VA의 농도를 비교해보면, 자돈사에서는 윈치커튼방식

이 36.9 ppb로 무창형방식에 비해 약 1.6배 농도가 높았다. 그리고 육성돈사는 무창형방식과 원치커튼방식에서 각각 38.3, 38.7 ppb로 보였고, 비육돈사에서는 각각 38.8 ppb, 35.2 ppb로 두 돈사 모두 무창형방식과 원치커튼방식이 농도가 비슷한 수준으로 조사되었다.

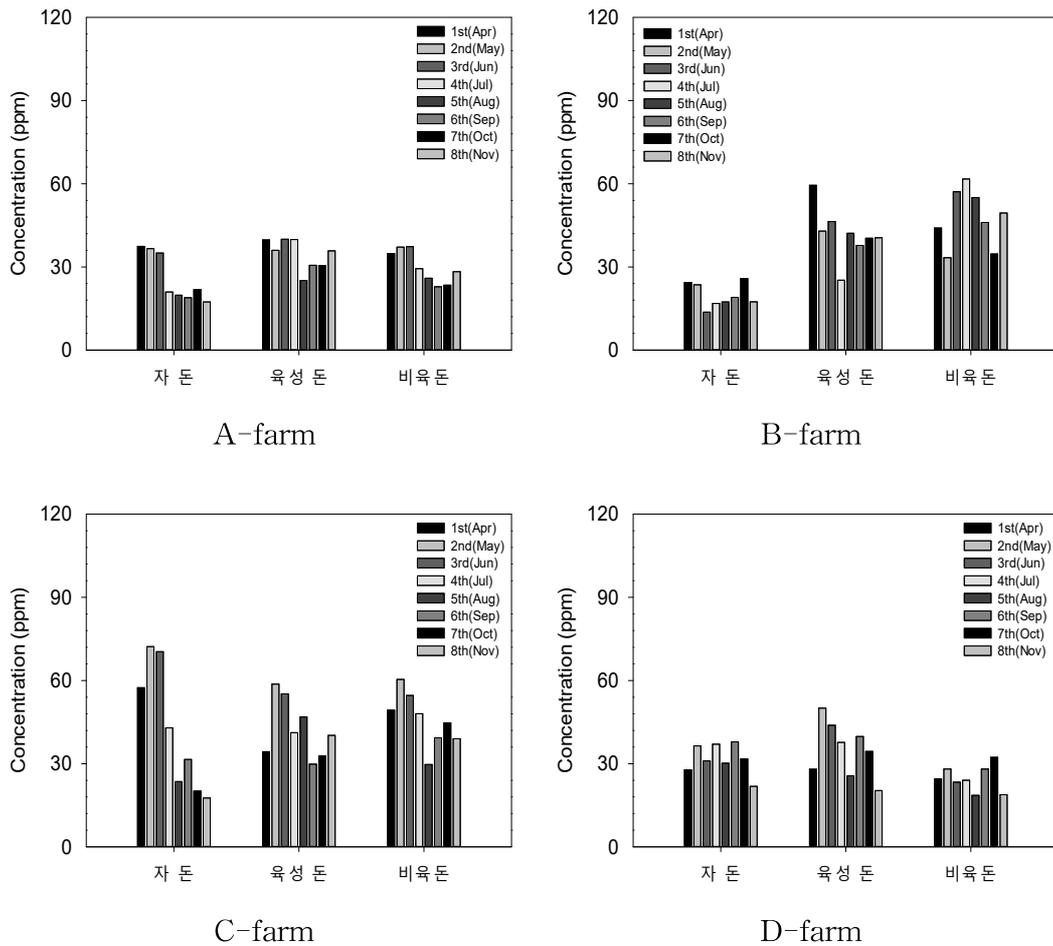


Figure 10. Comparison of *iso*-valeric acid concentrations in four swine farms.

Table 17. Concentrations of *iso*-valeric acid in four swine farms.

Sample	Concentration (ppb)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	37.4	36.6	35.0	21.0	19.8	18.9	21.9	17.4	26.0	8.1
	GR	39.8	36.0	40.0	39.9	25.1	30.6	30.5	35.8	34.7	5.1
	FR	34.8	37.2	37.3	29.4	25.9	22.9	23.4	28.3	29.9	5.5
B	WR	24.4	23.6	13.7	16.8	17.4	19.0	25.8	17.4	19.8	4.0
	GR	59.4	42.9	46.4	25.2	42.2	37.7	40.4	40.6	41.9	8.9
	FR	44.0	33.3	57.1	61.7	55.0	46.0	34.7	49.5	47.7	9.6
C	WR	57.4	72.2	70.4	42.9	23.6	31.5	20.2	17.6	42.0	20.8
	GR	34.4	58.7	55.2	41.2	46.9	29.9	32.8	40.2	42.4	9.8
	FR	49.3	60.4	54.6	48.0	29.7	39.4	44.7	39.0	45.6	9.0
D	WR	27.8	36.4	31.0	37.1	30.2	37.9	31.7	21.9	31.8	5.0
	GR	28.0	50.1	43.9	37.7	25.7	39.8	34.5	20.3	35.0	9.3
	FR	24.6	28.1	23.4	24.0	18.6	28.1	32.3	18.8	24.7	4.4
Mean	WR	36.8	42.2	37.5	29.5	22.8	26.8	24.9	18.6	29.9	7.7
	GR	40.4	46.9	46.4	36.0	35.0	34.5	34.6	34.2	38.5	5.1
	FR	38.2	39.8	43.1	40.8	32.3	34.1	33.8	33.9	37.0	3.7

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 18. Concentrations of *iso*-valeric acid in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppb)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	26.0	19.8	42.0	31.8	22.9	36.9
GR	34.7	41.9	42.4	35.0	38.3	38.7
FR	29.9	47.7	45.6	24.7	38.8	35.2

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

1.3.4 *n*-발레르산 농도

제주지역 4개 양돈장에서 각 돈사별로 용액흡수방식으로 시료를 채취하였고, *n*-발레르산(*n*-valeric acid, *n*-VA) 분석 결과를 Figure 11과 Table 19~20에서 상호 비교하였다. 각 돈사별 *n*-VA의 농도는 자돈사 37.6~70.2 ppb, 육성돈사 16.8~76.6 ppb, 비육돈사 53.5~70.1 ppb의 범위로 육성돈사에서 *n*-VA 성분이 높은 농도를 나타내었다.

n-VA 성분을 각 농장별로 구분하여 비교한 결과에서 A-농장은 자돈사 32.9~77.5 ppb (52.6 ppb), 육성돈사 48.5~71.1 ppb (63.3 ppb), 비육돈사 51.3~57.0 ppb (58.2 ppb)로 육성돈사에서 농도가 높았다. 자돈사에서 6월부터 자돈사의 농도가 낮아졌는데, 이는 돼지 폐사방지를 위해 환기팬 효율을 증가시켜 농도가 낮아진 것으로 판단된다.

B-농장에서는 *n*-VA 농도가 육성돈사와 비육돈사에서 각각 77.6, 77.5 ppb로 비슷한 수준의 농도를 보였고, 자돈사는 45.1 ppb로 두 돈사에 비해 약 1.7배 낮은 농도를 나타내었다. 이때 육성돈사 7월에 농도가 감소하였는데, 이는 시료 채취 시 돼지 출하로 인하여 사육두수가 감소하여 농도가 낮아진 것으로 판단된다.

C-농장의 *n*-VA 성분의 농도는 자돈사 25.7~83.6 ppb, 육성돈사 33.9~65.1 ppb, 비육돈사 37.2~66.9 ppb의 범위를 보였다. 이때 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 각각 53.1, 50.8, 53.96 ppb로 세 돈사 모두 비슷한 수준의 농도로 조사되었다. 이 중 자돈사 4~6월에 농도가 높았는데, 그 이유는 시료 채취 당시 미생물제제의 공급이 원활하지 않아 일시적으로 높은 농도를 보이는 것으로 사료된다.

D-농장의 *n*-VA 성분의 농도는 자돈사와 육성돈사 각각 46.3~89.3 ppb (70.3 ppb), 42.8~96.5 ppb (73.0 ppb)로 유사한 수준의 농도를 나타내었으며, 비육돈사는 34.0~60.0 ppb (50.7 ppb)의 농도를 보였다. 비육돈사의 농도가 낮은 이유는 비육돈사의 사육밀도가 자돈사와 육성돈사에 비해 크게 낮아 농도가 낮은 것으로 사료된다. 그리고 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 모두 11월에 낮은 농도를 보였다. 이는 다른 계절에 비해 미생물제제의 공급이 원활하여 농도가 감소한 것으로 추정된다.

위의 결과들로부터 4개 농장 모두 *iso*-VA와 유사한 경향을 나타내었으며,

C-농장을 제외한 농장에서 대체적으로 육성돈사에서 높은 농도를 보이는 것으로 확인되었다. 약취공정시험법 배출허용기준(2 ppb)과 비교해 본 결과, 4개 농장 모두 약취공정시험법 배출허용기준 보다 22.6~38.8배 농도가 높았다.

돈사환기 방식별로 *n*-VA 성분 농도를 비교한 결과, 자돈사에서는 원치커튼형방식이 61.7 ppb로 무창형방식 48.9 ppb 보다 1.3배 높은 농도를 나타내었다. 그러나 육성돈사와 비육돈사의 농도는 무창형방식이 각각 70.5, 67.9 ppb 원치커튼형방식에 비해 상대적으로 높은 농도를 보이는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 동일한 휘발성 저급지방산 성분인 PA, *n*-BA, *iso*-VA와 반대의 경향을 보였지만, *n*-VA 또한 양돈장 내부에서 약취를 일으키는 주요 물질로 관리가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 휘발성 저급지방산 4종을 돈사 환기방식이 다른 무창형방식과 원치커튼방식인 제주지역 양돈장 내부에서 시료를 채취, 분석한 송정민(2014) 연구결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 확인되었다.

이러한 휘발성 지방산의 농도 분석 결과를 종합해 보면, 일반적으로 무창형방식에서 높은 농도를 보인 *n*-VA를 제외한 나머지 PA, *n*-BA, *iso*-VA 성분들은 모두 원치커튼형방식에서 농도가 더 높은 특징을 나타내었다. 이처럼 휘발성 저급지방산의 농도가 돈사 환기방식별로 차이를 보이는 것은 분뇨 중의 탄수화물과 단백질이 이화작용과 혐기성 분해를 거치는 과정이 서로 다르고, 혐기성 미생물들이 각기 다른 대사경로로 작용했기 때문인 것으로 판단된다(고한중 등, 2008 Rappert and Muller, 2005).

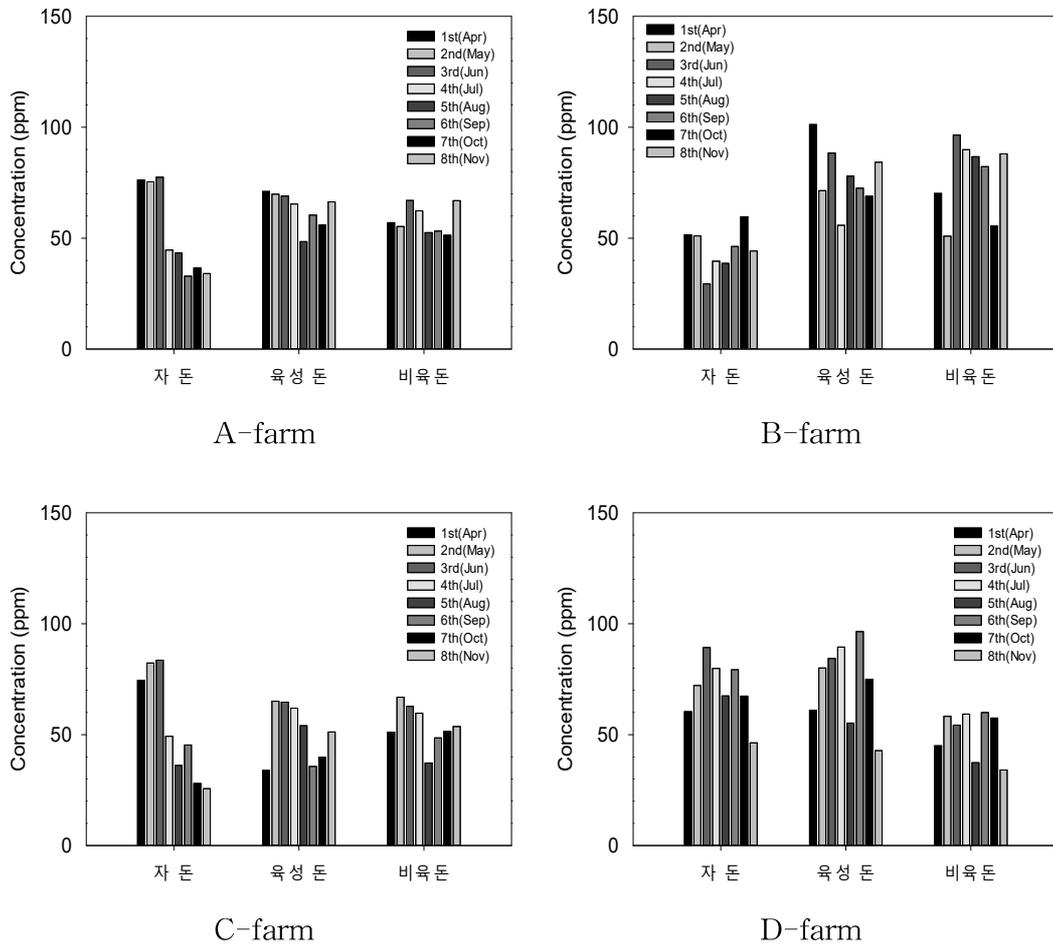


Figure 11. Comparison of *n*-valeric acid concentrations in four swine farms.

Table 19. Concentrations of *n*-valeric acid in four swine farms.

Sample	Concentration (ppb)								Mean	SD	
	1st (Apr)	2nd (May)	3rd (Jun)	4th (Jul)	5th (Aug)	6th (Sep)	7th (Oct)	8th (Nov)			
A	WR	76.3	75.4	77.5	44.7	43.4	32.9	36.5	34.1	52.6	18.8
	GR	71.1	69.9	69.0	65.4	48.5	60.4	56.0	66.4	63.3	7.3
	FR	57.0	55.3	67.0	62.3	52.5	53.2	51.3	66.9	58.2	6.0
B	WR	51.5	51.1	29.4	39.6	38.7	46.3	59.7	44.3	45.1	8.7
	GR	101.3	71.5	88.4	55.8	78.0	72.5	68.9	84.3	77.6	12.9
	FR	70.2	50.9	96.5	89.9	86.7	82.3	55.5	88.0	77.5	15.7
C	WR	74.5	82.3	83.6	49.3	36.2	45.3	28.0	25.7	53.1	22.3
	GR	33.9	65.1	64.6	62.0	54.0	35.7	39.8	51.2	50.8	12.1
	FR	51.1	66.9	62.7	59.7	37.2	48.6	51.4	53.7	53.9	8.7
D	WR	60.4	72.1	89.3	79.9	67.5	79.3	67.4	46.3	70.3	12.4
	GR	61.0	80.1	84.3	89.5	55.2	96.5	74.9	42.8	73.0	17.2
	FR	45.0	58.3	54.3	59.3	37.4	60.0	57.5	34.0	50.7	9.8
Mean	WR	65.7	70.2	70.0	53.4	46.5	51.0	47.9	37.6	55.3	11.3
	GR	16.8	71.7	76.6	68.2	58.9	66.3	59.9	61.2	66.2	5.7
	FR	55.8	57.9	70.1	67.8	53.5	61.0	53.9	60.7	60.1	5.8

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 20. Concentrations of *n*-valeric acid in two type swine farms.

Sample	Concentration (ppb)					
	ES (A-farm)	ES (B-farm)	WS (C-farm)	WS (D-farm)	ES Mean	WS Mean
WR	52.6	45.1	53.1	70.3	48.9	61.7
GR	63.3	77.6	50.8	73.0	70.5	61.9
FR	58.2	77.5	53.9	50.7	67.9	52.3

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

2. 악취 원인물질 기여도

악취물질은 각 성분별로 최소 감지농도가 다르기 때문에 악취물질의 농도만을 기준으로 악취기여도를 파악하기에 어려움이 있다(송정민, 2014). 따라서 기기 분석에 의해서 검출된 개별 악취물질의 농도를 각 물질의 최소감지농도로 나누어 준 값인 악취지수(Odor Quotient, OQ)와 총악취지수(Sum of Odor Quotient, SOQ)를 이용하여 더 효과적으로 악취기여도를 파악함으로써 주요 악취 원인물질을 예측할 수 있다. 이 때 OQ가 10 이상이면 약한 취기를 느끼고 100 이상이면 취기를 감지하는 수준을 나타낸다. 따라서 OQ 값이 100 이상이면 이들 성분들은 주요 악취원인물질로 작용하고 있다고 평가할 수 있다.

또한 악취기여도는 다음의 계산식 (1), (2)에 의해 산출할 수 있다. 그리고 악취물질의 전체 세기를 평가하기 위한 방법으로 총악취지수를 적용할 수 있으며, 식 (3)을 이용하여 이를 구할 수 있다. 본 연구에서는 각 돈사 방식별로 주요 악취 원인물질의 기여도를 이와 같은 방법으로 구하여 평가하였다. 이 때 악취 최소감지농도는 환경부에서 제시한 기준을 적용하였다(환경부, 2007).

$$\text{odor Quotient} = \frac{\text{Odor concentration (ppbv)}}{\text{Thresholdvalue (ppbv)}} \quad (1)$$

$$\text{Contribution of Odor (CO)} = \frac{OQ}{\Sigma OQ} \times 100 \quad (2)$$

$$\Sigma \text{ of Odor Quotient (SOQ)} = \Sigma \text{ Odor Quotient (OQ)} \quad (3)$$

본 연구에서는 돈사 환기방식이 다른 4개 양돈장내에서 측정된 악취 농도를 기초로 각 돈사별 악취지수(OQ)와 총악취지수(SOQ)를 구하였고, 그 결과를 Table 21에 수록하였다. 이들 결과로부터 악취기여도를 계산하여 산출한 결과를 Figure 12~14에서 상호 비교하였다. 각 농장별로 총악취지수(SOQ)는 C-농장(8745) > A-농장(8093) > B-농장(7335) > D-농장(6509) 순으로 C-농장에서 가장 높았고, 돈사별 총악취지수는 A-농장 육성돈사에서 10560으로 다른 돈사들에 비해 높은 SOQ로 조사되었다.

각 농장별 돈사형태에 따라 OQ를 비교한 결과를 Table 21에 수록하였다. A-농장에서 악취지수는 자돈사에서 n -BA > H₂S > n -VA > *iso*-VA > CH₃SH > PA > NH₃ > DMS > DMDS 순이고, 육성돈사는 n -BA > H₂S > *iso*-VA > n -VA > CH₃SH > PA > NH₃ > DMS > DMDS 순이며, 비육돈사는 n -BA > H₂S > *iso*-VA > n -VA > CH₃SH > PA > NH₃ > DMS > DMDS 순으로 모든 돈사에서 n -BA가 가장 높은 악취지수를 나타내었다. 그 다음으로 황화합물 계열인 H₂S 성분이 높았고, 다음으로 *iso*-VA, n -VA 성분이 높은 악취지수를 나타내었다. 그리고 화합물 종류별 악취기여도는 VFAs가 62.2%로 가장 높고, 다음으로 황화합물 36.7%, 질소화합물 1.2%를 나타내었다. 특히 황화합물의 악취기여도가 다른 농장에 비해 훨씬 높은 것으로 조사되었고, 이는 돈사관리 시에 휘발성 지방산류와 황화합물을 함께 관리할 필요가 있는 것으로 판단된다.

B-농장의 악취지수는 자돈사에서 n -BA > n -VA > *iso*-VA > H₂S > NH₃ > PA > CH₃SH > DMS > DMDS, 육성돈사는 n -BA > H₂S > *iso*-VA > n -VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > DMDS, 비육돈사는 n -BA > *iso*-VA > H₂S > n -VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > DMDS 순으로 모든 돈사에서 n -BA 성분이 가장 높았고, DMDS 성분이 가장 낮은 악취지수를 나타내었다. 그리고 악취기여도를 화합물 종류별로 비교해 보면, VFAs가 83.7%로 가장 높고, 다음으로 황화합물 14.9%, 질소계열이 1.4%를 보였고, 휘발성 저급지방산류에 대한 관리가 집중적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

C-농장은 자돈사에서 악취지수가 n -BA > *iso*-VA > n -VA > PA > CH₃SH > H₂S > DMS > NH₃ > DMDS 육성돈사는 n -BA > *iso*-VA > n -VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > H₂S > DMDS, 비육돈사는 n -BA > *iso*-VA > n -VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > H₂S > DMDS 순으로 n -BA가 모든 돈사에서 가장 높았고, 그 다음으로 *iso*-VA, n -VA, PA 성분들이 높은 악취지수를 나타내었으며, 이러한 결과는 C-농장은 휘발성 저급지방산류가 가장 주요한 악취물질인 것으로 조사되었다. 그리고 C-농장에서는 악취성분들의 기여도는 VFAs가 94.5%로 다른 농장에 비해 훨씬 높게 나타났다. 그 다음으로 황화합물 4.2%, 질소계열 1.2%로 C-농장은 주로 휘발성 저급지방산류의 영향을 가장 많이 받는 것으로 조사되었다.

D-농장에서 자돈사의 악취지수는 n -BA > H₂S > n -VA > *iso*-VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > DMDS 순이고, 육성돈사는 n -BA > n -VA > H₂S > *iso*-VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > DMDS 순이며, 비육돈사는 n -BA > H₂S > n -VA > *iso*-VA > PA > CH₃SH > NH₃ > DMS > DMDS 순으로 D-농장 또한 모든 돈사에서 n -BA가 가장 높았다. 그 다음으로 n -VA, H₂S 성분이 악취지수가 높은 것으로 조사되었다. 따라서 4개 양돈장의 자돈사, 육성돈사, 비육돈사 모두 n -BA성분이 가장 높은 악취지수를 보였고, 이는 양돈장에서 발생하는 주요 악취물질인 것으로 판단된다. 그리고 악취기여도에서는 VFAs가 86.5%, 황화합물이 12.3%, 질소계열이 1.1%를 나타내었고, 이러한 특징은 B-농장과 유사한 패턴을 나타내는 것으로 확인되었다.

돈사 환기방식이 무창형방식과 원치커튼형방식으로 구분하여 OQ와 SOQ를 상호 비교하였고, 그 결과를 Figure 13, Table 22에 나타내었다. 무창형방식의 OQ는 n -BA > H₂S > *iso*-VA > n -VA > CH₃SH > PA > NH₃ > DMS > DMDS 순으로 휘발성 저급지방산 계열인 n -BA가 가장 높았고, 그 다음으로는 황화합물 계열인 H₂S 성분이 높은 악취지수를 나타내었다. 반면에 원치커튼형방식은 악취지수가 n -BA > *iso*-VA > n -VA > H₂S > CH₃SH > PA > NH₃ > DMS > DMDS 순으로 원치커튼형방식이 무창형방식에 비해 H₂S가 낮은 것으로 조사되었다. 그리고 악취기여도 비교에서는 무창형방식이 VFAs 72.4%, 황화합물 26.3%, 질소화합물 1.3%를 보였고, 원치커튼형방식은 이들 기여도가 각각 91.1%, 7.7%, 1.2%로 무창형방식은 휘발성 저급지방산류의 기여도가 높고, 반면에 원치커튼형방식에서는 황화합물 악취기여도가 무창형방식에 비해 상대적으로 악취기여도가 높은 것으로 조사되었다. 이에 무창형방식은 휘발성 저급지방산류와 황화합물의 관리가 함께 이루어져야 할 것으로 판단된다.

일반적으로 돈사의 주요 악취 원인물질은 질소와 황 계열로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 2010년 악취공정시험방법에 새롭게 추가된 휘발성 저급지방산의 악취기여도가 질소와 황 계열에 비해 훨씬 높은 결과를 나타내었다. 이는 휘발성 저급지방산이 돈사 관리에 필요한 물질로 판단된다.

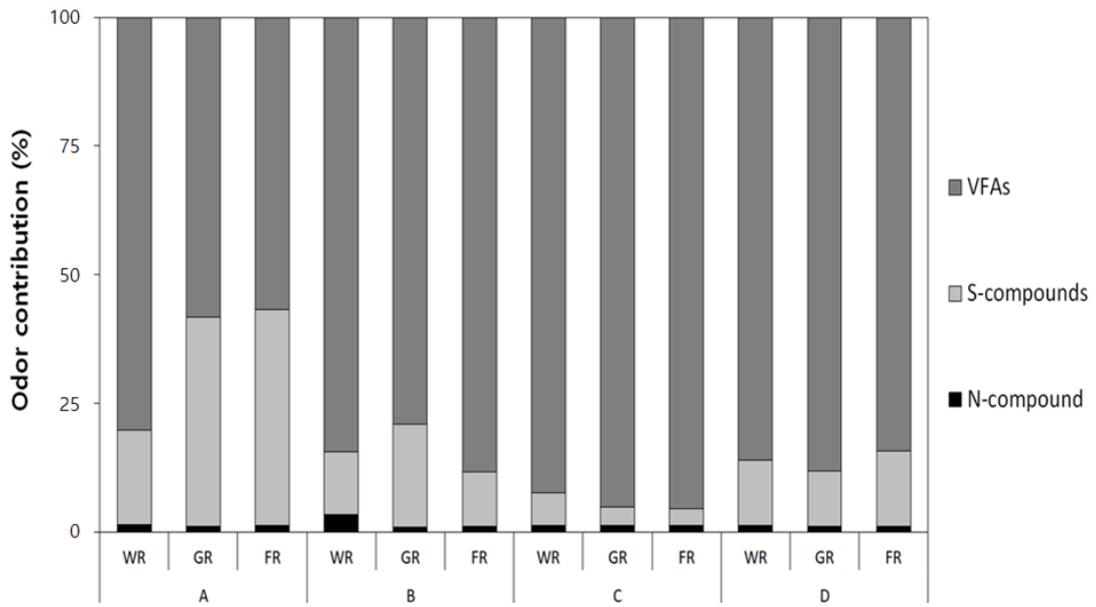


Figure 12. Comparison of odor contributions by odorous compounds in four swine farms.

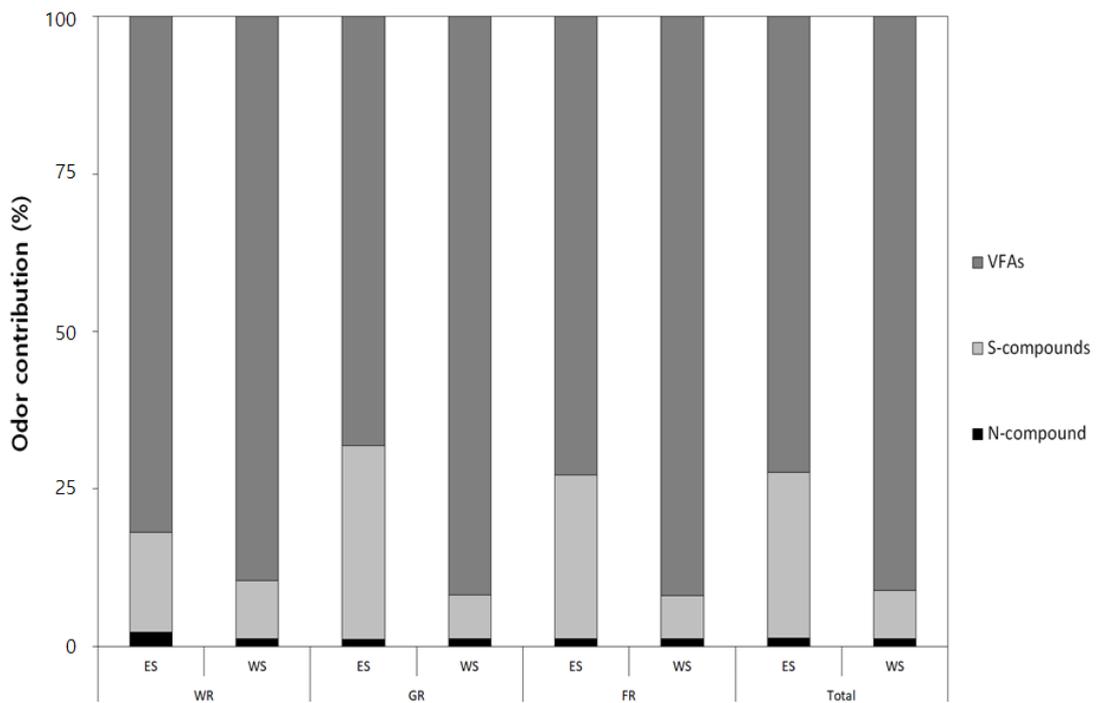


Figure 13. Comparison of odor contributions by odorous compounds in two type swine farms.

Table 21. Odor quotients (OQ) and sums of odor quotient (SOQ) for nine odorous compounds in four swine farms.

		Odor Quotient								SOQ
		NH ₃	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	PA	<i>n</i> -BA	<i>iso</i> -VA	<i>n</i> -VA	
A	WR	70	621	222	50	131	2740	520	526	4880
	GR	106	3641	571	93	210	4612	694	633	10560
	FR	108	3491	179	45	177	3660	598	582	8839
	mean	95	2584	324	63	173	3671	604	580	8093
B	WR	110	340	42	12	85	1803	395	451	3239
	GR	93	1772	123	32	293	5723	837	776	9649
	FR	102	789	130	34	289	6045	954	775	9117
	mean	102	987	98	26	222	4524	729	667	7335
C	WR	105	172	241	116	262	6177	840	531	8444
	GR	106	76	126	90	334	6314	848	508	8403
	FR	116	72	141	89	338	7177	913	539	9387
	mean	109	107	169	98	311	6556	867	526	8745
D	WR	92	754	136	32	251	4707	635	703	7310
	GR	84	706	121	25	266	5255	700	730	7888
	FR	44	508	101	27	113	2533	495	507	4328
	mean	73	656	119	28	210	4165	610	647	6509

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

Table 22. Odor contribution (%) of odorous compounds in four swine farms.

		Odor Quotient								Total
		NH ₃	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	PA	<i>n</i> -BA	<i>iso</i> -VA	<i>n</i> -VA	
A	WR	1.5	12.7	4.6	1.0	2.7	56.1	10.7	10.8	100.0
	GR	1.0	34.5	5.4	0.9	2.0	43.7	6.6	6.0	100.0
	FR	1.2	39.5	2.0	0.5	2.0	41.4	6.8	6.6	100.0
	mean	1.2	31.9	4.0	0.8	2.1	45.4	7.5	7.2	100.0
B	WR	3.4	10.5	1.3	0.4	2.6	55.7	12.2	13.9	100.0
	GR	1.0	18.4	1.3	0.3	3.0	59.3	8.7	8.0	100.0
	FR	1.1	8.7	1.4	0.4	3.2	66.3	10.5	8.5	100.0
	mean	1.4	13.2	1.3	0.4	3.0	61.7	9.9	9.1	100.0
C	WR	1.2	2.0	2.9	1.4	3.1	73.2	9.9	6.3	100.0
	GR	1.3	0.9	1.5	1.1	4.0	75.1	10.1	6.0	100.0
	FR	1.2	0.8	1.5	0.9	3.6	76.5	9.7	5.7	100.0
	mean	1.2	1.2	1.9	1.1	3.6	75.0	9.9	6.0	100.0
D	WR	1.3	10.3	1.9	0.4	3.4	64.4	8.7	9.6	100.0
	GR	1.1	9.0	1.5	0.3	3.4	66.6	8.9	9.3	100.0
	FR	1.0	11.7	2.3	0.6	2.6	58.5	11.4	11.7	100.0
	mean	1.1	10.1	1.8	0.4	3.2	64.0	9.4	9.9	100.0

*WR : Weaned Room, GR : Growing Room, FR : Fattening Room

IV. 결 론

제주지역 양돈장 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 악취물질을 채취하여 주요 9종의 악취물질을 분석하였다. 분석결과로부터 농장별, 돈사유형별 악취 발생 특 징과 악취 기여도를 평가하였다.

암모니아는 A-농장 비육돈사에서 10.8 ppm으로 농도가 높았고, B-농장 자돈 사에서 11.0 ppm, C-농장 비육돈사에서 11.6 ppm, D-농장 자돈사에서 9.2 ppm 으로 높은 농도를 보였다. 환기방식별로 비교한 결과에서는 자돈사는 원치커튼 형, 육성돈사와 비육돈사는 무창형에서 농도가 높게 나타났다.

황화합물들에서 H₂S는 A-농장의 육성돈사에서 1,820.4 ppb로 농도가 높았고, 환기방식에서는 무창형이 원치커튼형에 비해 H₂S가 1.03~7.37배 높았다. CH₃SH 는 자돈사에서 원치커튼형이 무창형에 비해 1.4배, 육성돈사와 비육돈사에서는 무창형이 2.8, 1.3배 높은 농도를 보였다. DMS는 1.3~11.6 ppb 수준으로 악취공 정시험법 배출허용기준(50.0 ppb)보다 낮은 농도를 나타내었다. DMDS는 모든 농장에서 '불검출' 수준으로 배출허용기준(9.0 ppb) 이하이었다. 이러한 결과로 보 아 양돈 악취는 H₂S와 CH₃SH가 영향을 미치고 DMS와 DMDS 영향은 미소한 것으로 추정된다.

휘발성 지방산의 농도는 모두 악취공정시험법 배출허용기준을 초과하였으며, PA, *n*-BA, *iso*-VA는 대체적으로 원치커튼형에서 더 높고 *n*-VA는 무창형에서 상대적으로 더 높은 특징을 나타내었다.

악취지수(OQ)는 모든 농장의 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 *n*-Butyric acid 성분이 가장 높았다. 총악취지수(SOQ)는 A-농장의 육성돈사에서 10,560으로 가 장 높았으며, A-농장, B-농장, D-농장에서는 육성돈사, C-농장에서는 비육돈사 에서 높게 나타났다. 악취지수에 의한 악취기여도 평가결과 휘발성 저급지방산이 모든 농장에서 62.2~94.5%로 가장 높았고, 다음으로는 황화합물, 질소화합물 순 이었다. 환기방식별로는 무창형이 VFAs 72.4%, 황화합물 26.3%, 질소화합물 1.3% 이었고, 원치커튼형은 이들 성분들이 각각 91.1%, 7.7%, 1.2%로 무창형에서 휘발 성 저급지방산의 기여도가 높고, 원치커튼형에서는 상대적으로 황화합물 기여도 가 높은 경향을 보였다.

이러한 연구를 통해 제주지역 양돈 돈사의 9종 지정악취물질 중 DMS, DMDS를 제외한 나머지 성분들이 주요 악취물질로 확인되었고, 농장별, 돈사별로 편차를 보였다. 농도편차는 습도, 온도, 외부온도 변화에 따라서 또 환기팬 효율, 사육두수 변화, 돈사 내부 면적 차이, 피트 상부 분뇨량, 피트 하부 분뇨 슬러리양, 온도와 습도 등에 따라 영향을 받는 추정된다. 그리고 휘발성 저급지방산의 악취 기여도가 비교적 크게 나타나 질소화합물, 황화합물과 함께 관리가 필요한 것으로 판단된다. 또한 연구를 통해 악취물질의 효율적인 관리를 위해서는 적절한 기여도 평가가 매우 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

V. 참 고 문 헌

1. 강진영 (2010) 제주지역 양돈 분뇨 악취 저감 방안
2. 김기현, 반신영, 김선태 (2005) 대기 중 암모니아 성분의 분석법 연구:UV/VIS 분광계를 이용한 간이비색계의 상대 성능평가, 한국분석과학회, 18(5), 425-430.
3. 김소진, 이진세, 최호준 (1997) 흡광광도법을 이용한 작업환경중 암모니아 분석법, 산업보건, 116,44-49.
4. 김은하, 이재훈 (2000) 대기 중 암모니아 가스 및 암모늄 에어로졸의 실시간 측정 방법 개발, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 96-97.
5. 김재혁, 유경선, 오제범, 정주영 (2012) 양돈시설에서 발생하는 악취특성에 관한 연구, 대한환경공학회지, 34(7), 439-444.
6. 김정호, 서병량, 손보균, 이정주 (2006) 돈사폐수의 전처리 과정에서 발생하는 악취 물질 특성, 한국도시환경학회지 제 6권 2호 1~12
7. 김희호 (2017) 물리적 및 화학적 처리에 의한 양돈장의 악취저감 효과, 경남과학기술대학교 대학원, 농학석사학위논문
8. 고한중, 김기연, 김현태, 고문석, 히구치 다카시, 우메다 미키오 (2008) 메탄발효와 퇴비화 공정이 연계된 가축분뇨 처리시설에서 발생하는 악취물질 특정조사, 한국동물자원과학회지, 50(3), 391-400.
9. 국립환경과학원 (2013) 악취배출허용기준 개선 및 조치 방안 마련
10. 류희욱, 조정숙, 이태호, 허목. 2003. 양돈시설 악취관리: I. 국내 양돈 산업 현황 및 악취 특성. 한국냄새환경학회지 제2권 제2호 69~77
11. 송정민, 양효선, 고한중, 김영주, 김기연, 강창희 (2013) 제주지역 양돈시설에서 발생하는 악취물질의 계절별 농도 및 배출 특성, 한국분석과학회지, 26(6), 364-374.
12. 송정민 (2014) 제주지역 양돈시설 발생 악취물질의 특성 및 저감효과 연구
13. 안민호 (2010) 암모니아와 황화수소 동시 측정 시스템 개발에 관한 연구, 수원대학교 대학원, 석사학위논문.

14. 양성봉, 유미선, 황희찬 (2003) GC/FPD에 의한 대기 중 황화합물 농도분포에 관한 연구, 한국분석과학회 16(3), 240-248.
15. 오영숙, 김기현, 구윤서, 김명수, 설미진, 전승세, 최여진, 안대회 (2006) 축산 분뇨처리시설 발생 악취 특성, 한국냄새환경학회지, 5(1), 1-9.
16. 월간축산. (2006) 효율성과 경제성 동시 만족하는 탈취법.
17. 유용희 (2004) 돈사내 발생악취에 대한 저감 방안
18. 유용희, 김태일, 정중원,곽정훈, 최희철, 송준익, 양창범, 장영기, 김호정, 송기봉 (2005) 돈사 내 및 부지경계에서 악취물질 발생 조사 연구, 축산시설환경, 11(1), 45-54.
19. 윤병석, 임익현, 정태섭 (2003) 제지공장의 악취 및 VOCs의 발생 특성에 관한 연구
20. 이강훈, 조성백, 박규현, 양승학, 이준엽, 오상집, 김인호, 최동윤, 유용희, 황옥화 (2012) 모형 슬러리 돈사 활용한 분뇨의 저장기간별 악취물질 농도 조사, 축산시설환경학회, 18, 29-34.
21. 이은영 (2008) 축산 환경개선제로 생산·유통되는 생균제의 문제점 및 검증방안, 한국미생물·생명공학회지, 36(2), 87-95.
22. 이은영, 임정수 (2010) 양돈 분뇨의 악취특성 및 문제 해결을 위한 환경개선제 사용 현황 및 전망, 한국미생물·생명공학회지, 38(3), 244-254.
23. 이은영, 이소진 (2010) 돈분뇨로부터 발생하는 암모니아의 배출 특성, 한국미생물·생명공학회지, 38(3), 308-314.
24. 이종국 (2011) 분뇨순환 돈사의 악취특성 및 제거에 관한 연구, 조선대학교 박사학위 논문.
25. 이창원, 유재홍, 이은영 (2012) 돈분뇨 처리과정에서 발생하는 알데히드 화합물의 발생특성, 한국냄새환경학회. 11(4), 174-183.
26. 이창원. 2012 돈분에서 배출되는 악취물질 중 알데히드 화합물의 발생특성. 석사학위논문. 수원대학교 대학원
27. 이하영 (2003) 양돈시설에서 발생하는 악취물질의 특성에 관한 연구
28. 유원균, 김초롱, 이명규, 김동균 (2012) 돈사환경 개선을 위한 생육단계별 돈사내 악취물질 농도 및 유해가스의 1일 변화추세 분석, 축산시설환경, 18(1), 25~34.

29. 장영기, 송기봉, 김호정, 유용희 (2004) 축산시설에서 발생하는 악취의 축종별 특성에 대한 설문조사, 한국환경영향평가학회지, 13(1), 33-40.
30. 전종길, 최홍림, 이인복, 김경원, 옥행지 (2004) 슬러지 돈사내 오염물질 정량화 및 이동경로 추적, 환경냄새환경학회지, 3(3), 160-165.
31. 정기한, 한정철, 광석준, 정재두, 이진우, 김두환 (2008) 효소복합체가 양돈슬러리 및 돈사 악취발생에 미치는 영향, 축산시설환경학회지. 14(1), 15~22.
32. 조동제 (2015) 부산시 환경기초사업소 탈취시설 효율 및 악취기여도 평가, 부산대학교 환경대학원, 공학석사 학위논문
33. 채정석, 전준민, 오경철, 김신도, 류희욱 (2016) 퇴비를 이용한 구덩이 매몰 처리시 돼지 사체의 부패 특성.
34. 최정은 (2009) 축산환경개선제의 검증방안과 황화계 악취저감 미생물의 분리, 수원대학교 대학원, 석사학위논문
35. 통계청 (2016) 가축동향.
36. 환경부 (2008) 2006년도 화학물질 배출량 조사결과.
37. 환경부 (2012) 악취관리업무편람.
38. 환경부 (2016) 악취공정시험방법.
39. Ahn, J. W., S. K. Pandey, and K. H. Kim (2011) Comparison of GC-MS calibration properties of volatile organic compounds and relative quantification without calibration standards, *Journal of Chromatographic Science*, 49(1), 19-28.
40. Coleman, R. N., J. J. R. Feddes and B. S. West (1991) What is odor and the potential for its control? in proceedings of western branch meeting, *Canadian Society of Animal Production*, Chilliwack (Abstarct).
41. Cooper, P. and I. S. Cornforth (1978) Volatile fatty acids in stored animal slurry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29(1), 19-27.
42. Cruwys, J. A., R. M. Dinsdale, F. R. Hawkes, and D. L. Hawkes (2002) Development of static headspace gas chromatographic procedure for the routine analysis of volatile fatty acids in wastewaters, *Journal of Chromatography A*, 945, 195-209.
43. Dennis shuesterman M.M.,M.P.H. 2010. The Health significance of

environmental odor pollution.

44. D. N. Miller and V. H. Varel (2003) Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds.
45. Hao, O. J., J.M. Chen, L. Huang and R.L. Buglass (1996) Sulfate-reducing bacteria, *Critical Reviews in Environment Science and Technology*, 26(2), 155-187.
46. Jang, Y. K., K. P. Song, H. J. Kim, and Y. H. Yoo. 2004. AN Investigation on the Odor Characteristics of Livestock Facilities. *EIA*. 13(1): 33-40.
47. Kim, K.Y. and Choi, J. H. 2013. Distribution characteristics of odorous compounds concentrations according to type of pig buildings. *Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering*. Vol.12, No1; 27~37
48. Klarenbeek, J. V. and M. A. Bruins (1998) Ammonia emissions from livestock farming and sewage operations. Edited by Nielsen, V. C., J. H. Voorburg and P. L'Hermite. *Elsevier Applied Science*, London, 73-84.
49. Lie, E. and T. Wellander (1997) A method for determination of the readily fermentable organic fraction in municipal wastewater, *Water Research*, 31(6), 1269-1274.
50. Mackie, R. I. (1994). Microbial production of odor components. In: Proc. of international round table on swine odor control. 13-15 June at Ames, IA, USA, pp. 18-19.
51. McGill, A. E. J. and N. Jackson (1977) Changes in short chain carboxylic acid content and chemical oxygen demand of stored pig slurry, *Journal Science of Food and Agriculture*, 28(5), 424-430.
52. Muehling, A. J. (1970) Gases and odors from stored swine wastes *Journal of Animal Science*, 30, 526-531.
53. Nagata, Y. (2003) Odor intensity and odor threshold value, Bulletin of Japan, *Environmental sanitation Center*, 17-25.
54. Narkis, N., S. Henefeld-Fourrier, and M. Rebhun (1980) Volatile organic acids in raw wastewater and in physico-chemical treatment, *Water Research* 14(9),

1215-1223.

56. Nordstrom, G. A. and J. B. McQuitty (1976) Manure Gases in the Animal Environment, Department of *Agricultural Engineering*, University of Alberta.
55. O'Neill, D. H. and V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odor nuisance from livestock building: Part 3, Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them, *J. Agric. Eng. Res.* 53: 23-50.
56. Rappert, S. and R. Muller (2005) Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries, *Waste Manage.* 25(9), 887-907
57. Sawyer, Clair N., Perry L. McCarty, and Gene F. Parkin (2003) Chemistry for Environmental Engineering and Science, McGraw-Hill, *fifth edition*, 231-232, 689-698.
58. Schaefer J. (1997) Sampling, characterization and analysis of malodours, *Agriculture and Environment*, 3, 121-127.
59. Schiffman, S. S., J. L. Bennett and J. H. Raymer (2001) Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 213-240.
60. Spina, L., F. cavallaro, N. I. Fardowza, P. Lagoussis, D. Bona, C. Ciscato, A. Rigante, and M. Vecchi (2007) Butyric acid: pharmacological aspects and routes of administration, *Digestive and Liver Disease Supplements* 1, 7-11.
61. Spoelstra, S. F. (1980) Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development. *Agriculture and Environment*, 5:241-260.
62. Yasuhara, A., K. Fuwa, and M. Jimbu (1984) Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure, *Agricultural Biological Chemistry*, 48, 3001-3010.
63. Yoo, Y. H., T. L. Kim, J. W. Jeong, H. C. Choi, J. I. Song, C. B. Yang, Y. K. Jang, H. J. Kim, and K. P. Song. 2005. A Field Survey on

Concentration of Odor Compounds in Pig Buildings and Boundary Areas.

J. Lives. Hous. & Env. 11(1): 45-54.

64. Yun, S. I. and Y. Ohta (2005) Removal of volatile fatty acids with Immobilized rhodococcus sp. B261, *Bioresource Technology*, 96, 41-46.

