

연구논문

축산시설의 축종별 악취물질 농도 특성과 악취도 평가

장영기 · 정봉진 · 김 정 · 송기봉* · 김호정** · 유용희***

수원대학교 환경공학과, 안산시청 지구환경과*, 시흥시청 환경정책과**, 국립축산과학연구원 축산환경과***
(2009년 8월 26일 접수, 2009년 12월 24일 승인)

Assessment of Odor Characterization and Odor Unit from Livestock Facilities by animals

Young Kee Jang · Bong Jin Jung · Jeong Kim · Ki Bong Song* ·
Ho Jung Kim** · Yong Hee Yoo***

Department of Environmental Engineering, Suwon University, Ansan City*,
Siheung City**, National Institute of Animal science***

(Manuscript received 26 August 2009; accepted 24 December 2009)

Abstract

At recent the number of livestock is increased and the size of farm has changed to large facilities in Korea. So the livestock facilities have become one of major sources of odor emission.

The purpose of this study is to analyze the concentration and assessment of odor unit from livestock facilities for cow, dairy, swine and poultry. The eleven odor pollutants such as H_2S , $(CH_3)SH$, $(CH_3)_2S$, $(CH_3)_2S_2$, CH_3N , NH_3 , $(CH_3)_2N$, $(CH_3)_3N$, butyric acid, valeric acid and iso-valeric acid, measured for assessment of the odor concentrations from livestock facility.

As the results, it is found that the major matters of odor from livestock facilities were NH_3 and H_2S . The highest concentration of NH_3 is measured as 15 ppm at henhouse and H_2S is measured as 858 ppb at penpig facilities. In the comparison of the average odor unit from livestock, it is found that the highest odor unit was from swine and the lowest odor unit was from cow facility. So odor unit from swine facilities was 12 to 30 times higher than the odor unit from cow facilities.

Keywords : Odor, livestock

1. 서론

악취는 감각적이고 주관적인 오염물질로 상황에 따라 또는 개인적 성향에 따라 악취 정도가 판단되기 때문에 정량적 측정이 어려운 물질이다. 이러한 악취로 인한 민원 발생건수가 계속 증가하는 추세이며, 쾌적한 대기질에 대한 요구가 점점 커지기 때문에 이를 충족시키기 위해서는 악취문제를 해결해야 한다. 특히 대규모 축사와 농촌지역 등에 설치된 소규모 축사 등에서 발생하는 악취로 민원이 계속되고 있다. 국내에서 연구된 결과는 축산폐수처리 시설에 대한 악취 연구는 홍대용 등(2007), 분뇨처리 시설에 대한 악취 연구는 안대희 등(2006)이 있으며, 축산시설에서의 연구는 박귀한 등(2005)의 암모니아 외 6종에 대한 연구결과가 있으나 가축 종별, 사업장 규모별, 사육두수별 악취물질 배출특성이 파악되지 못하고 있는 실정이다.

국내 악취물질 배출특성은 국외 가축 특성별 악취물질 배출특성 및 배출계수의 적용에 어려운 점

이 있으며, 국내 가축 사육규모별 특성 또한 고려되지 못하고 있다. 따라서 국내 실정에 맞는 가축종별 사업장 규모별 악취물질 배출특성의 파악이 요구되어지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 우사, 돈사, 양계사 등 축산시설의 축종별, 사육규모별, 사육시설별 악취 배출특성을 조사하고 배출특성에 따른 악취도 평가를 하고자 하였다.

II. 축종별 사육현황과 악취 농도 측정

1. 축종별 사육 현황

현재 국내 가축의 분류는 농림수산식품부, 농림통계연보에서 한·육우, 젖소, 닭, 돼지 외 10종으로 구분하고 있으며, 이러한 가축 종별 연도별 가축 사육두수는 국민소득 증가 및 식생활의 변화에 따라 급격히 변화하고 있다.

농림부의 연도별 국내 가축사육 현황을 살펴보면 그림 1~그림 4와 같이 젖소를 제외한 한·육우, 돼

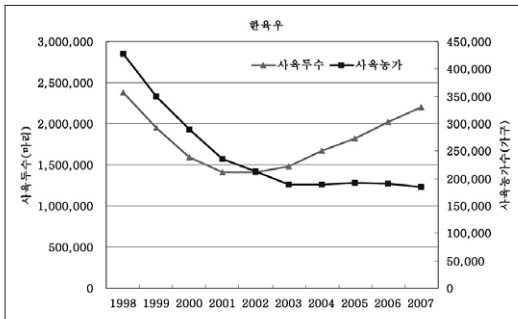


그림 1. 연도별 한육우 사육두수 및 사육 농가 수

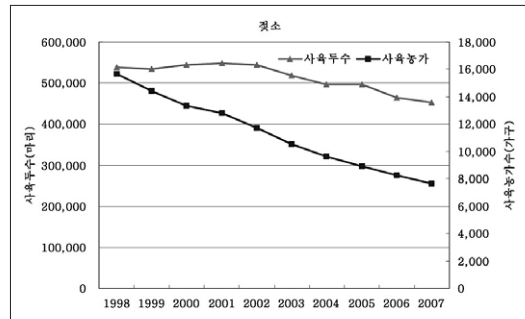


그림 2. 연도별 젖소 사육두수 및 사육 농가 수

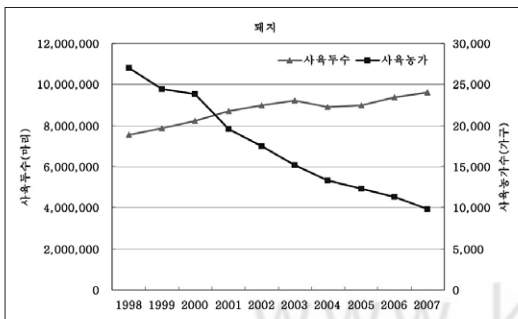


그림 3. 연도별 돼지 사육두수 및 사육 농가 수

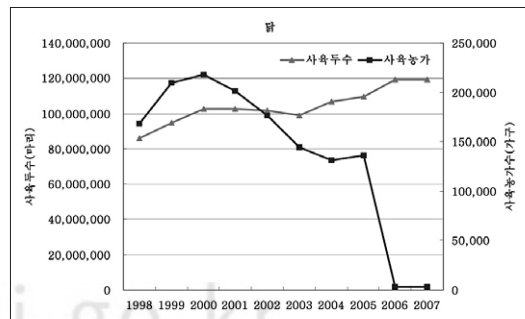


그림 4. 연도별 닭 사육두수 및 사육 농가 수

지, 닭의 경우 사육두수는 매년 증가추세를 나타내고 있다. 가축 사육농가의 경우 감소추세를 나타내고 있으며, 이는 가축 사육농가가 대형화 되어가고 있어 악취발생원으로 중요성이 높아짐을 알 수 있다.

2. 축사의 악취 발생 연구

1) 조사 대상 시설의 선정

실측대상 농가의 선정은 국립축산과학연구원의 도움을 받아 축종에 따라 국내의 평균적인 대·중·

소규모 사육 농가를 선정하였다. 악취 농도의 측정 은 악취 공정시험법의 시료채취 일반사항의 입지 여 건, 악취분포 상태, 대상지역의 기상상태를 고려하 여 악취가 가장 높을 것으로 판단되는 곳을 시료 채 취지점으로 선정하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 사육시설 내에서의 측정으로 악취농도가 가장 높을 것으로 판단되는 사육시설 중앙지점에서 측정하는 것을 원칙으로 하였다(그림 5 참조). 축종별 조사대 상 사육시설의 사육두수와 크기는 표 1과 같다.

표 1. 축종별 대상농가 시설현황

축 종	지 점 명	분뇨처리 방식	환기형태	사육두수	시설크기(m)		
					가 로	세 로	
한육우	C-L-1	톱밥우사	개방형	73	23.8	63.0	
	C-L-2	톱밥우사	개방형	63	12.8	71.2	
	C-M	톱밥우사	개방형	84	9.0	32.0	
	C-S	톱밥우사	개방형	30	21.0	18.0	
젖 소	D-L	톱밥우사	개방형	107	73.0	8.0	
	D-M-1	톱밥우사	개방형	46	9.8	50.0	
	D-M-2	톱밥우사	개방형	35	20.0	36.0	
	D-S	톱밥우사	개방형	19	31.0	13.0	
산란계	L-L	스크레파	밀폐형	70,000	12.0	90.0	
	L-M	스크레파	개방형	12,000	12.3	84.0	
	L-S	스크레파	개방형	11,200	14.0	75.0	
육 계	B-L	깔집	밀폐형	11,000	12.0	61.0	
	B-M	깔집	밀폐형	6,000	9.0	43.0	
	B-S	깔집	개방형	6,000	10.0	33.0	
돼 지	P-L	자돈사	슬러리	밀폐형	172	4.0	10.0
		분만돈사	슬러리	밀폐형	6	4.0	10.0
		모돈사	슬러리	밀폐형	145	32.0	20.0
		비육돈사	슬러리	밀폐형	850	42.0	20.0
	P-M-1	자돈사	슬러리	개방형	315	10.0	17.0
		분만돈사	슬러리	개방형	42	9.0	43.0
		모돈사	슬러리	개방형	100	9.0	43.0
		비육돈사	슬러리	개방형	233	9.0	43.0
	P-M-2	자돈사	슬러리	밀폐형	132	4.0	10.0
		분만돈사	슬러리	밀폐형	8	4.0	10.0
		모돈사	슬러리	개방형	175	45.0	14.0
		비육돈사	톱밥	개방형	550	14.0	36.0
		비육돈사	슬러리	개방형	550	14.0	36.0
	P-S	자돈사	슬러리	밀폐형	62	2.7	9.7
		분만돈사	슬러리	밀폐형	3	2.4	9.7
		모돈사	슬러리	개방형	38	7.5	28.5
비육돈사		톱밥	개방형	195	10.0	29.0	

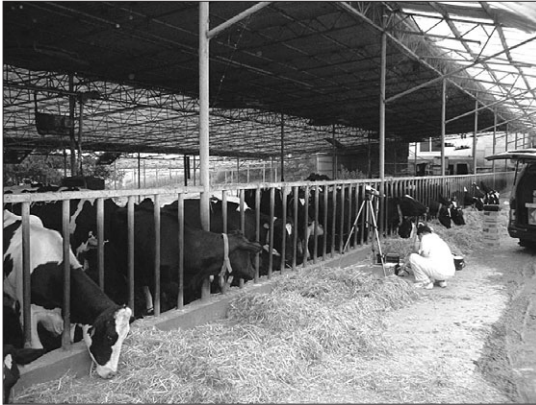


그림 5. 젓소 및 육계 사육시설의 악취 실측 장면

측정 대상 물질은 축산 사업장과 분뇨처리장에서 주로 발생되는 악취물질에 대하여 황화수소(H_2S), 메틸머캅탄($(CH_3)SH$), 황화이메틸($(CH_3)_2S$), 이황화이메틸($(CH_3)_2S_2$)인 S계열 4 가지 물질과 암모니아(NH_3), 메틸아민(CH_3N), 디메틸아민($(CH_3)_2N$), 트리메틸아민($(CH_3)_3N$)인 N계열 4 가지 물질, 지방산인 부틸산(C_3H_7COOH), 발레르산($C_5H_{10}O_2$), 이소발레르산($(CH_3)_2CHCH_2COOH$) 3 가지 물질로 총 11 개 물질을 대상으로 측정하였다.

2) 실험방법

암모니아 시료의 포집은 흡수액으로 붕산용액 25 mL를 사용하여 Handy sampler를 이용하여 포집하였으며, 유량은 overflow가 일어나지 않는 1.5 L/min으로 유지하여 10분간 포집을 실시하였다. 암모니아의 분석은 축산시설내 고농도로 인하여 대기공정시험법의 악취편 암모니아 분석의 검출한계 내에 들지 못하여 배출허용기준 시험방법의 인도페놀법을 사용하여 분석하였다. 황 계열의 시료의 포집은 5 ~ 10 L 정도의 시료채취용 백을 이용하였으며, 감압을 할 수 있도록 밀폐 상자를 이용하였다. 시료의 포집 시간은 10분간 실시하였다. 황 계열의 분석은 GC/SCD를 이용하여 분석을 실시하였다. 아민계열의 시료의 포집은 대기공정시험방법의 악취편 트리메틸아민 법을 이용하여 포집하였으며, 포집용 거름종이는 직경 47 mm, 구멍크기 $0.3 \mu m$ 의 원형 유리섬유 거름종이로 20 % H_2SO_4 에 함침

하고 Dry Oven에서 $60 \text{ }^\circ C$ 로 1시간정도 건조시킨 후 48시간 이상 데시케이터에서 건조시킨 것을 사용하였다. 시료의 포집은 2.5 L/min의 유속으로 20 ~ 30분간 여지에 흡수하였다. 아민계열의 분석은 GC/FID를 이용하여 분석을 실시하였다. 아민계열의 분석 시 디메틸아민, 트리메틸아민을 분리하여 분석치 못하여 전체를 디메틸아민 농도로 가정하여 결과를 분석하였다. 지방산 계열의 시료의 포집은 측정 당시(2003년) 국내 대기공정시험법의 지방산 포집에 대한 시험법이 없어 일본의 대기공정시험법을 이용하였으며, 내경 5 mm ϕ , 길이 18 cm의 유리관에 저급지방산 $Sr(OH)_2$ 로 충전한 흡착관으로 하였다. 시료의 포집은 2.5 L/min의 유속으로 20 ~ 30분간 여지에 흡수하였다. 지방산 계열의 분석은 GC/FID를 이용하여 분석을 실시하였다. 조사

표 2. 악취 물질별 분자식 및 실험법

악취 물질명	분 자 식	실 험 법
암모니아	NH_3	인도페놀법
황화수소	H_2S	GC/SCD
메틸머캅탄	$(CH_3)SH$	
황화이메틸	$(CH_3)_2S$	
이황화이메틸	$(CH_3)_2S_2$	
메틸아민	CH_3N	GC/FID
디메틸아민	$(CH_3)_2N$	
트리메틸아민	$(CH_3)_3N$	
부틸산	C_3H_7COOH	
발레르산	$C_5H_{10}O_2$	
이소발레르산	$(CH_3)_2CHCH_2COOH$	

대상 악취물질의 종류와 실험법을 정리하면 표 2와 같다.

III. 축종별 악취 농도 측정결과 및 악취 강도 비교

1. 한육우, 젖소 사육 시설 악취 측정 결과

한육우사의 악취물질 측정결과 암모니아는 산술 평균으로 2.6 ppm, 황화수소는 31.5 ppb, 메틸머캅탄은 5.0 ppb, 황화이메틸은 1.3 ppb, 이황화이메틸은 1.1 ppb, 메틸아민은 9.0 ppb, 디메틸아민과 트리메틸아민은 25.1 ppb, 부틸산은 46.8 ppt, 발레르산은 17.6 ppt, 이소발레르산은 81.6 ppt로 측정되었다.

젖소 축사내의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모니아가 3.6 ppm, 황화수소는 15.4 ppb, 메틸머캅탄은 2.4 ppb, 황화이메틸은 1.4 ppb, 이황화이메틸은 1.1 ppb, 메틸아민은 16.7 ppb, 디메틸아

민과 트리메틸아민은 22.7 ppb가 측정되었다.

2. 산란계, 육계 시설 악취 측정 결과

산란계사의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모니아는 16.4 ppm, 황화수소는 141.6 ppb, 메틸머캅탄은 3.3 ppb, 황화이메틸은 13.5 ppb, 이황화이메틸은 측정한계 이하, 메틸아민은 11.5 ppb, 디메틸아민과 트리메틸아민은 45.8 ppb, 부틸산은 3.8 ppt, 발레르산은 11.2 ppt, 이소발레르산은 22.1 ppt로 측정되었다.

육계사의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모니아는 14.4 ppm, 황화수소는 7.9 ppb, 메틸머캅탄은 11.7 ppb, 황화이메틸은 7.1 ppb, 이황화이메틸은 0.8 ppb, 메틸아민은 11.0 ppb, 디메틸아민과 트리메틸아민은 37.9 ppb, 부틸산은 15.1 ppt, 발레르산은 9.4 ppt, 이소발레르산은 6.3 ppt가 측정되었다.

표 3. 한육우 축사 내 악취물질 농도

구 분	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민	트리메틸아민	부틸산	발레르산	이소발레르산
C-L-1	5.4	40.9	10.1	2.9	2.2	10.9	47.5	58.6	35.2	77.4	
C-L-2	1.8	53.0	9.9	2.5	2.2	7.3	13.9	34.9	0.0	85.8	
C-M	1.7	32.1	N.D	N.D	N.D	8.2	17.9	미측정	미측정	미측정	
C-S	1.3	N.D	N.D	N.D	N.D	9.6	21.3	미측정	미측정	미측정	
범 위	1.3~5.4	0.0~53.0	0.0~10.1	0.0~2.9	0.0~2.2	7.3~10.9	17.9~47.5	0.0~58.6	0.0~35.2	0.0~85.8	
산술평균	2.6	31.5	5.0	1.3	1.1	9.0	25.1	46.8	17.6	81.6	
중앙값	1.8	36.5	4.9	1.2	1.1	8.9	19.6	17.4	0.0	38.7	

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂, CH₃N, (CH₃)₂N 및 (CH₃)₃N (ppb), 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 (ppt)

표 4. 젖소 축사내 악취물질 농도

구 분	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민	트리메틸아민	부틸산	발레르산	이소발레르산
D-L	2.2	N.D	N.D	N.D	N.D	46.9	24.6	미측정	미측정	미측정	
D-M-1	2.7	13.7	N.D	N.D	N.D	11.0	46.8	미측정	미측정	미측정	
D-M-2	1.8	16.2	9.7	3.1	2.5	N.D	N.D	미측정	미측정	미측정	
D-S	7.5	31.8	N.D	2.3	2.0	8.8	19.5	미측정	미측정	미측정	
범 위	2.2~7.5	0.0~31.8	0.0~9.7	0.0~3.1	0.0~2.5	0.0~46.9	0.0~46.8	미측정	미측정	미측정	
산술평균	3.6	15.4	2.4	1.4	1.1	16.7	22.7	미측정	미측정	미측정	
중앙값	2.4	14.9	0.0	1.2	1.0	9.9	22.1	미측정	미측정	미측정	

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂, CH₃N, (CH₃)₂N 및 (CH₃)₃N (ppb), 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 (ppt)

표 5. 산란계사 내 악취물질 농도

구 분	암모니아	황화수소	메틸머captan	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민	트리메틸아민	부틸산	발레르산	이소발레르산
L-L	9.5	13.0	N.D	17.7	N.D	7.4	43.8	7.5	22.3	N.D	
L-M	5.2	399.6	N.D	19.9	N.D	8.6	38.2	N.D	N.D	44.2	
L-S	34.6	12.2	9.9	3.1	N.D	18.4	55.4	미측정	미측정	미측정	
범 위	5.2~34.6	12.2~399.6	0.0~9.9	3.1~19.9	N.D	7.4~18.4	39.2~55.4	0.0~7.5	0.0~22.3	0.0~44.2	
산술평균	16.4	141.6	3.3	13.5	N.D	11.5	45.8	3.8	11.2	22.1	
중앙값	9.5	13.0	N.D	17.7	N.D	8.6	43.8	N.D	N.D	N.D	

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂, CH₃N, (CH₃)₂N 및 (CH₃)₃N (ppb), 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 (ppt)

표 6. 육계사내 악취물질 농도

구 분	암모니아	황화수소	메틸머captan	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민	트리메틸아민	부틸산	발레르산	이소발레르산
B-L	3.3	N.D	11.9	N.D	2.5	18.1	43.0	45.4	N.D	N.D	19.0
B-M	25.0	11.9	10.7	13.2	N.D	8.9	48.1	N.D	N.D	12.2	N.D
B-S	15.0	11.7	12.5	8.1	N.D	6.0	22.5	N.D	N.D	16.0	N.D
범 위	3.3~25.0	0.0~11.9	10.7~12.5	0.0~13.2	0.0~2.5	6.0~18.1	22.5~48.1	0.0~45.4	0.0~16.0	0.0~19.0	
산술평균	14.4	7.9	11.7	7.1	0.8	11.0	37.9	15.1	9.4	6.3	
중앙값	15.0	11.7	11.9	8.1	N.D	8.9	43.0	N.D	12.2	N.D	

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂, CH₃N, (CH₃)₂N 및 (CH₃)₃N (ppb), 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 (ppt)

3. 양돈 시설 악취 측정 결과

자돈사의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모니아는 8.8 ppm, 황화수소는 190.5 ppb, 메틸머captan은 11.5 ppb, 황화이메틸은 4.1 ppb, 이황화이메틸은 2.3 ppb가 측정되었다.

분만돈사의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모니아는 3.5 ppm, 황화수소는 598.6 ppb, 메틸머captan은 9.8 ppb, 황화이메틸은 2.1 ppb, 이황화이메틸은 2.2 ppb가 측정되었다.

모돈사의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모

니아는 4.2 ppm, 황화수소는 1,872.2 ppb, 메틸머captan은 10.2 ppb, 황화이메틸은 2.8 ppb, 이황화이메틸은 2.2 ppb가 측정되었다.

비육돈사의 악취물질 측정결과 산술평균으로 암모니아는 6.2 ppm, 황화수소는 1,020.9 ppb, 메틸머captan은 10.3 ppb, 황화이메틸은 3.0 ppb, 이황화이메틸은 1.3 ppb가 측정되었다. 또한 분뇨처리 형태별로 슬러리 처리에서 암모니아는 평균 5.6 ppm, 황화수소는 323.6 ppb, 메틸머captan은 10.2 ppb, 황화이메틸은 2.9 ppb, 이황화이메틸은 1.4

표 7. 자돈사내 악취물질 농도

구 분	사육형태	분뇨처리	암모니아	황화수소	메틸머captan	황화이메틸	이황화이메틸
P-L	자돈사	슬러리	4.9	77.1	11.7	5.1	2.6
P-M-1	자돈사	슬러리	21.0	596.2	11.5	3.3	2.1
P-M-2	자돈사	슬러리	8.3	29.3	12.9	4.8	2.4
P-S	자돈사	슬러리	0.9	59.3	9.8	3.1	2.2
범 위			0.9~21.0	29.3~596.2	9.8~12.9	3.1~5.1	2.1~2.6
산 술 평 균			8.8	190.5	11.5	4.1	2.3
중 앙 값			6.6	68.2	11.6	4.1	2.3

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂ (ppb),

표 8. 분만돈사내 악취물질 농도

구 분	사육형태	분뇨처리	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	황화이메틸	이황화이메틸
P-L	분만돈사	슬러리	2.4	125.6	9.8	2.4	2.3
P-M-1	분만돈사	슬러리	3.8	2,182.9	9.9	N.D	2.2
P-M-2	분만돈사	슬러리	6.1	43.7	9.8	2.8	2.1
P-S	분만돈사	슬러리	1.7	42.3	9.7	3.0	2.3
범 위			1.7~6.1	42.3~2,182.9	9.7~9.9	0.0~3.0	2.1~2.3
산 술 평 균			3.5	598.6	9.8	2.1	2.2
중 양 값			3.1	84.7	9.8	2.6	2.2

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂ (ppb),

표 9. 모돈사내 악취물질 농도

구 분	사육형태	분뇨처리	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	황화이메틸	이황화이메틸
P-L	모돈사	슬러리	5.0	191.0	9.8	3.0	2.2
P-M-1	모돈사	슬러리	3.1	533.5	N.D	2.4	2.2
P-M-2	모돈사	슬러리	6.7	6,712.4	11.1	3.0	2.3
P-S	모돈사	슬러리	2.1	51.9	9.8	2.8	2.2
범 위			2.1~6.7	51.9~6,712.4	9.8~11.1	2.4~3.0	2.2~2.3
산 술 평 균			4.2	1,872.2	10.2	2.8	2.2
중 양 값			4.0	362.3	9.9	2.9	2.2

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂ (ppb),

표 10. 비육돈사내 악취물질 농도

구 분	사육형태	분뇨처리	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	황화이메틸	이황화이메틸
P-L	비육돈사	슬러리	8.7	70.9	10.2	5.2	2.2
P-M-1	비육돈사	슬러리	6.6	857.7	10.9	3.4	2.1
P-M-2	비육돈사	톱밥처리	11.3	1,230.2	11.2	3.8	2.2
P-M-2	비육돈사	슬러리	1.5	42.3	9.6	N.D	N.D
P-S	비육돈사	톱밥처리	2.7	2,903.2	9.8	2.5	N.D
비육돈사 슬러리 평균			5.6	323.6	10.2	2.9	1.4
비육돈사 톱밥처리 평균			7.0	2,066.7	10.5	3.2	1.1
범 위			1.5~11.3	42.3~2,903.2	9.6~11.2	0.0~5.2	0.0~2.2
비육돈사 평균			6.2	1,020.9	10.3	3.0	1.3
중 양 값			6.6	857.7	10.2	3.4	2.1

단위 : NH₃ (ppm), H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂ (ppb),

ppb가 측정되었으며, 톱밥 처리에서 암모니아는 평균 7.0 ppm, 황화수소는 2,066.7 ppb, 메틸머캅탄은 10.5 ppb, 황화이메틸은 3.2 ppb, 이황화이메틸은 1.1 ppb가 측정되었다.

4. 축종별 악취 물질별 냄새세기 분석

축종별 악취 물질별 냄새세기의 분석을 위해 악

취 물질 자극량과 감각세기와의 관계를 나타내는 Weber-Fechner 식을 이용하였으며 표 11과 같다. 악취 물질별 냄새세기가 3도를 넘는 물질은 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄인 것으로 나타났다. 표 12에서 보는바와 같이 소의 경우 상대적인 악취도가 다른 축종보다 낮았고 닭은 암모니아가, 돼지는 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄에 의한 악취도가

표 11. 악취물질별 냄새세기와 물질농도와의 함수 관계식

물 질 명	냄새세기(Y)와 물질농도(X)와의 함수 관계식	물 질 명	냄새세기(Y)와 물질농도(X)와의 함수 관계식
암모니아	$Y = 1.67 \log X + 2.38$	황화수소	$Y = 0.950 \log X + 4.14$
메틸머captan	$Y = 1.25 \log X + 5.99$	황화이메틸	$Y = 0.784 \log X + 4.06$
이황화이메틸	$Y = 0.985 \log X + 4.51$	메틸아민	$Y = 1.03 \log X + 4.10$
디메틸아민	$Y = 0.811 \log X + 3.52$	트리메틸아민	$Y = 0.901 \log X + 4.56$
부틸산	$Y = 1.29 \log X + 6.37$	발레르산	$Y = 1.58 \log X + 7.29$
이소발레르산	$Y = 1.09 \log X + 5.65$		

* X : ppm, Y : 냄새세기
출처 : 수도 PEC 출판부, 2004, 후각과 냄새물질

표 12. 축종별 악취물질에 따른 냄새세기

구 분	암모니아	황화수소	메틸머captan	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민*	트리메틸아민*	부틸산	발레르산	이소발레르산
한옥우	2.8	2.8	1.7	1.1	0.9	2.0	2.1		0.8	0.1	1.2
젓소	3.0	2.4	0.0	1.1	0.9	2.0	2.2	미측정	미측정	미측정	미측정
산란계사	4.0	2.3	0.0	2.8	0.0	2.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
육계사	4.3	2.3	3.6	2.5	0.0	2.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
자돈사	3.7	3.1	3.6	2.3	1.9	-	-	-	-	-	-
분만돈사	3.2	3.1	3.5	2.2	1.9	-	-	-	-	-	-
모돈사	3.4	3.7	3.5	2.2	1.9	-	-	-	-	-	-
비육돈사	3.7	4.1	3.5	2.2	1.9	-	-	-	-	-	-

* 디메틸아민과 트리메틸아민 악취도 : 디메틸아민과 트리메틸아민 전체 농도가 디메틸아민으로 가정하여 계산함.

높았다. 그러나 Weber-Fechner의 법칙은 단일 물질의 농도와 냄새세기에 대한 관계식으로 일반적으로 복합 악취에 대해서 표현하는 것은 한계가 있다.

대부분의 악취는 특정한 몇 가지 냄새나는 물질에 의한 것이 아니고, 대단히 많은 물질을 포함하는 다성분계이다. 또한 이러한 다성분계 냄새의 세기는 냄새를 일으키는 성분끼리의 복합 작용이 있기 때문에, 단순하게 성분물질의 농도 합으로 나타내기에는 어려움이 있다. 따라서 다음 식과 같이 냄새물질별 농도 값을 표 13의 냄새물질별 최소감지농도 (threshold value)로 나눈 악취강도 (Odor unit)로 환산한 값을 더하여 상대적인 악취기여도를 알 수 있으며, 본 연구에서는 축종별 악취강도를 비교 분석하였다.

$$\text{대상시설별 종합 Odor Unit} = \sum_j \frac{C_j}{V_j}$$

C_j = 악취물질 농도

V_j = 악취물질 최소감지 농도

$j = \text{NH}_3, \text{H}_2\text{S}, (\text{CH}_3)\text{SH}, (\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{CH}_3)_2\text{S}_2$

축종에 따라 악취물질별 악취 강도를 모두 합한 종합 악취강도를 표 14와 같이 비교하였다. 이를 살펴보면 돼지 사육시설이 모두 높은 악취강도를 보이는데 이는 최소감지농도가 낮은 황화수소의 농도가 비육돈사와 모돈사에서 높게 측정되었기 때문이다. 축종별 종합 악취강도는 모돈사에서 가장 높게 나타났으며, 비육돈사, 분만돈사, 자돈사, 산란계, 육계, 한옥우, 젓소 사육시설 순으로 분석되었다. 종합 악취강도가 가장 작은 젓소 사육시설의 악취

표 13. 악취 물질별 최소감지농도

(단위 : ppb)

구 분	암모니아	황화수소	메틸머captan	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민	트리메틸아민	부틸산	발레르산	이소발레르산
최소감지농도	150	0.41	0.07	0.033	2	35	33	0.032	0.068	0.037	0.078

출처 : 환경부, 2001, 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사 연구

표 14. 축종별 종합 악취 강도

(단위 : Odor Unit)

축종별	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	황화이메틸	이황화이메틸	메틸아민	디메틸아민*	트리메틸아민	발레르산	이소발레르산	ΣO.U
한육우	17.1	76.8	71.3	40.6	0.5	0.3	0.8	0.7	0.5	1.0	209.6
젓 소	23.7	37.6	34.6	41.5	0.6	0.5	0.7	-	-	-	139.1
산란계	109.6	345.4	47.1	410.2	0.0	0.3	1.4	0.1	0.3	0.3	914.7
육 계	96.1	19.2	167.3	215.1	0.4	0.3	1.1	0.2	0.3	0.1	500.1
자돈사	58.4	464.5	163.7	123.2	1.2	0.2	0.6	-	-	-	811.9
분만돈사	23.2	1,460.1	140.3	62.3	1.1	0.3	0.5	-	-	-	1,687.7
모돈사	28.0	4,566.4	145.2	84.5	1.1	0.3	0.4	-	-	-	4,825.8
비육돈사	41.1	2,489.9	147.8	90.8	0.7	0.4	0.8	-	-	-	2,771.4

강도를 1로 보았을 때 축종별 사육시설의 악취강도의 상대적 크기를 비교하여 보면 모돈사의 경우 약 35 배, 비육돈사 20 배, 분만돈사 12 배, 산란계사 7 배, 자돈사 6 배, 육계사가 4 배 큰 악취 강도를 나타내었다.

축종별 악취물질별 기여도를 비교하여 보면 닭의 경우 황화수소와 황화이메틸의 악취기여도가 높고, 돼지의 경우는 황화수소의 악취기여도가 절대적인 것으로 평가되었다(그림 6 참조).

이러한 결과는 앞의 Weber-Fechner식에 의한 악취도 분석과 약간 다른 결과인데 이는 최소감지농도가 상대적으로 암모니아는 높고 황화수소는 낮기 때문이다. 따라서 최소감지농도를 이용하여 복합 악취의 악취 물질별 기여도를 평가하는 것은 최소감지농도에 너무 민감하여 해석에 한계가 있다고 판단된다.

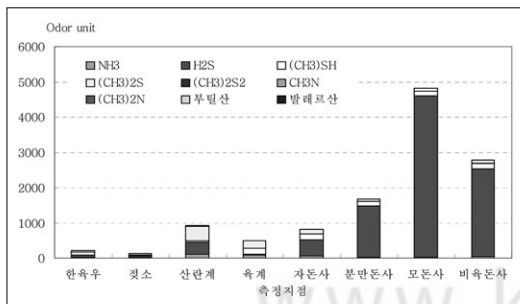


그림 6. 축종별 종합 악취강도(Odor Unit)

IV. 결론

최근 축사의 대형화에 따라 축사로 인한 악취 민원이 증가하고 있지만 국내에서는 아직까지 가축 종별 악취물질 배출특성이 파악되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 축종별 대·중·소규모 사육 농가를 선정하여 축종별 사육현황에 따라 상대적 악취 강도는 어떻게 다르며 주요 악취 물질은 무엇이며 그 기여율은 어느 정도 되는지에 대하여 악취물질별 화학분석을 통하여 평가하였다.

1) 연도별 국내 가축사육 현황을 살펴보면 젓소를 제외한 한육우, 돼지, 닭의 경우 매년 증가추세를 나타내고 있으며, 사육 사육농가의 경우 감소추세를 나타내고 있다. 이는 가축 사육농가가 대형화 되어가고 있으며, 악취 발생원으로 중요성이 높아짐을 알 수 있다.

2) 측정 대상 물질은 축산 악취물질에 대하여 황화수소, 메틸머캅탄, 황화이메틸, 이황화이메틸인 S계열 4 가지 물질과 암모니아, 메틸아민, 디메틸아민, 트리메틸아민인 N계열 4 가지 물질, 지방산인 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 3 가지 물질로 총 11 개 물질을 대상으로 소, 닭, 돼지의 사육시설에서 측정하였다.

3) 축종별 악취 측정결과 암모니아의 경우 육계와 산란계사 내 농도가 9.5 ~ 15.0 ppm으로 높게 나타났다. 황화수소는 돼지 사육시설에서 857.7 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 메틸머캅탄은 육계사에서 11 ~ 13 ppb로 가장 높게 나타났다.

4) Weber-Fechner 식을 이용한 축종별 개별 악

취 물질에 대한 냄새세기 분석결과 악취 물질별 냄새세기가 3도를 넘는 물질은 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄인 것으로 나타났다. 소의 경우 상대적인 악취도가 다른 축종보다 낮았고, 닭은 암모니아가, 돼지는 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄에 의한 악취도가 높았다.

5) 대부분의 악취물질은 다성분계로서 악취물질별 농도 값을 악취물질별 최소감지농도로 나눈 악취강도(Odor Unit)로 환산한 값을 더하여 축종별 종합 악취강도를 비교한 결과 돼지, 닭의 경우 황화수소와 황화이메틸의 악취기여도가 높고, 돼지의 경우는 황화수소의 악취기여도가 절대적인 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 Weber-Fechner식에 의한 악취도 분석과 약간 다른 결과인데 이는 최소감지농도가 상대적으로 암모니아는 높고 황화수소는 낮기 때문이다. 따라서 최소감지농도를 이용하여 복합 악취의 악취 물질별 기여도를 평가하는 것은 최소감지농도에 너무 민감하여 해석에 한계가 있다고 판단된다.

축산시설에서 발생하는 악취는 기상조건에 따라 주변 지역에 확산 이동하여 악취 민원을 발생하게 된다. 최근 축산시설은 점차 대형화하고 있어 주요 악취배출시설의 가능성이 높아지고 있다. 따라서 악취 관리를 위해서는 축종별 축산시설의 악취발생 특성과 저감대책에 대한 지속적 조사연구가 필요하다.

참고문헌

김선규, 2003, 악취농도단위와 악취농도지수간의 상관성에 관한 기초 연구, 한국냄새환경학회 추계학술대회논문집.
농림부, 2000, 가축 분뇨 자원화 및 이용기술 개발.
농림부, 2000, 돈사에서 발생하는 악취 및 유해가스 제거 system 개발.
농림부, 2002, 축사 내 악취제거 및 부유세균 제거 장치 개발.

농림부, 2004, 축산분뇨처리시책 및 기술교육.
농촌진흥청, 2001, 축산분뇨처리기술.
농협중앙회, 2001, 생산비 절감을 위한 최신 축사환기 및 구조.
농촌진흥청, 2002, 가축분뇨 액비 사용기술.
류희욱, 조경숙, 이태호, 허 목, 2003, 양돈시설 악취관리 : I. 국내 양돈 산업 현황 및 악취 특성, 한국냄새환경학회지, 2(2).
류희욱, 조경숙, 이태호, 허 목, 2003, 양돈시설 악취관리 : II. 악취 관리 계획 수립, 한국냄새환경학회지, 2(2).
박귀환, 오길영, 정경훈, 정선용, 차규석, 2005, 축산시설의 악취 특성에 관한 연구, 한국냄새환경학회지, 4(4).
안대희, 오영숙, 김기현, 구윤서, 김명수, 설미진, 전승세, 최여진, 2006, 축산분뇨처리시설 발생 악취 특성, 한국냄새환경학회지, 5(1).
양성봉, 황희찬, 김태우, 유미선, 한진석, 2003, 알칼리 Beads법에 의한 대기 중 저급 지방산 농도분포에 관한 연구, 한국냄새환경학회지, 2(2).
수도 PEC 출판부, 2004, 후각과 냄새물질.
수원대학교, (주)한미 악취분석 및 슬러지 탈수능 조사.
통계청, 2008, 농업통계정보, 가축사육통계.
한국대기환경학회, 2003, 악취성 황화합물에 대한 GC 검출기술.
홍대웅, 김수정, 문동호, 주창한, 이종필 2007, 축산폐수처리시설에서 발생하는 악취물질 배출특성, 한국냄새환경학회지, 6(1).
환경부, 2001, 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구.
환경부, 2004, 우사·양계사 등에서 발생하는 악취 배출 특성 조사 및 저감방안 연구.