

돈사의 환경계측에 관한 연구

Measuring the Environment of Pig Houses

최규홍* 손재룡* 이강진* 최동수* 최용삼** 남상일**
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
K.H. Choi J.R. Son K.J. Lee D.S. Choi Y.S. Choe S.I. Nam

1. 서론

축사로부터 유발되는 주요 유해가스로는 호흡과 대사생리에 의해 생성되는 탄산가스(CO₂), 분뇨로부터 확산되는 암모니아가스(NH₃), 분뇨의 산화과정에서 생성되는 황화수소(H₂S) 및 메탄가스(CH₄) 등이 대표적이다. 이들 유해가스의 농도가 일정치를 넘게되면 가축의 생산성이 떨어지고, 식욕 부진, 호흡장애, 경련 등 질병을 초래하는 것으로 보고되고 있다.

암모니아는 동물의 신진대사가 만들어내는 냄새나는 가스중의 하나이다. 분비물에 들어있는 질소는 주로 암모니아와 유기질소의 형태로 존재하고 유기물은 박테리아에 의해 질산암모니아로 감성(感成)되어 변화된다. 암모니아 이온(NH₄⁺)과 암모니아(NH₃)는 pH에 의존하고 pH가 10.8이상이면 용액 내에서 질산암모니아는 NH₄⁺ 이온으로부터 NH₃ 가스로 변화한다. 그러므로 동물이 배설한 질소의 거의 대부분은 암모니아 가스로 휘발하고 휘발된 암모니아는 공기중에서 다양한 산화체에 의해 산화되며, 산성비의 주범으로 널리 알려진 질소 산화물을 만든다. 세계 도처에서 암모니아가 방출되는 것을 엄격하게 제한하는 것은 이러한 문제 때문이다.

연구결과에 따라 다소 차이를 보이지만, 축사내 암모니아가스 허용한계는 20ppm 정도로 사람이 냄새를 겨우 느낄 수 있는 정도이다. 다시 말해 축사에서 사람이 냄새를 느낄 수 있다면, 이는 가축에 스트레스를 주고 있다는 것을 의미한다. 이 등(1996)은 밀폐식 분만 이유자돈사내의 암모니아 가스농도는 20ppm 이하를 나타내 안정한 반면에, 양 등(1998)의 연구결과에 의하면, 관행 돈사의 4~9월중 암모니아 가스농도가 18~34ppm 수준으로 허용한계치 20ppm을 훨씬 초과하는 것으로 나타나 적절한 조치가 필요한 것으로 나타났다.

황화수소 및 메틸메르캡탄 등을 포함한 휘발성 황화물계 가스들은 극소량으로도 악취를 느끼게 하며, 독성을 발하는 유독 가스이다. 일례로, 축사에서 발생하는 가스에서, 악취 감도 하한값이 가장 낮은 10가지 화합물 중 6가지 화합물은 황을 포함하고 있다(O'Neill and Phillips, 1992). 이중 황화수소는 가축의 뇨에서 발생하는 가스로, 독성이 매우 강하고, 악취가 심한 가스로 알려져 있다(Tchobanoulous and Burton, 1991).

이러한 암모니아와 황화수소의 방출량을 측정하는 방법으로 현재까지 몇가지 방법이 개발된 바 있다. 관능검사법은 인간의 후각을 이용하여 5명의 사람이 직접 냄새를 맡고 이를 6단계의 취기 강도로 표시한 후 이를 평균하여 측정하는 방법이다. 인간의 후각은 다른 어떤 기계로도 측정할 수 없는 농도의 화합물까지 감지할 수 있기 때문에 악취를 정량화하기 위한 정확한 접근 방법이 될 수 있다. 본 연구는 농림부 농림기술개발사업 연구비지원에 의해 수행되었음.

* 농업기계화연구소

** 동양물산(주) 중앙기술연구소

다(pomeroy, 1976). 그러나, 인간의 후각은 쉽게 피로해지므로, 감각이 무디어 지거나 변화할 수 있기 때문에, 이 방법은 객관적인 정량화 수단으로는 적절하지 못하다.

GC(Gas Chromatography)나 질량분석기는 기체내의 가스 성분을 정성적, 정량적으로 분석할 수 있는 방법이나, 구입 비용과 운전비용이 많이 들고, 휴대가 불가능하고, 포집 백을 이용하여 가스를 채집 후 일정시간 내에 분석해야 하는 등 많은 제약이 뒤따르게 된다. 가스포집법(Gas trapping method)(Schiffman et al., 1996)은 비교적 저렴한 비용으로 가스의 양을 측정할 수 있으나, 측정하려는 가스가 불완전한 흡착할 여지가 있고, 암모니아와 황화수소를 별도로 샘플링해야 하며, 무엇보다도, 전문지식을 갖춘 인력이 많은 시간과 노력을 들여 실험실에서 실시해야 한다는 단점이 있다.

Jacobson et al(1996)과 Zhang et al(1996)은 황화수소, 암모니아 등을 Gastec의 검지관을 이용하여 측정하였다. 가스 검지관은 휴대용 펌프를 이용해 가스 농도에 따라 색상이 변하는 검지관에 가스를 주입하여 농도를 측정하는 방법이다. 이 방법은 휴대성은 우수하나, 검지관이 일회용이어서 측정비용이 많이 소모되며, 측정오차가 상대적으로 크고 연속적인 측정이 불가능하다는 치명적인 단점을 갖는다. 그동안 국내에서 수행된 축사내부 가스측정은 대부분 감스검지관에 의존하여 왔고, 출입문이나 축창의 개폐여부, 낮과 밤의 변화 등 일일환경변화를 감안한 연속적인 측정이 이루어지지 못하여 왔다.

따라서 이 연구에서는 돈사 내부환경을 연속적으로 측정할 수 있는 계측시스템을 개발하고, 현재 양돈시설에서 발생하는 악취중에서 가장 큰 비중을 차지하고 공기의 질을 결정하는 암모니아 가스를 정량분석함으로써, 휴대형 암모니아 가스센서개발에 필요한 기초자료를 도출하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 계측시스템 구성

본 계측시스템은 온도, 습도, 이산화탄소, 암모니아, 황화수소를 연속적·실시간 측정이 가능하도록 구성하였고, 표1은 시스템을 구성하고 있는 주요사양을 나타낸 것이다. 그림1과 2는 각각 시스템 구성도 및 시스템 내부를 보여주고 있다.

Table 1 Specifications of the measurement system components.

Item	Model/Maker	Specifications
Temp./Humidity	HMW60Y/Vaisala(Finland)	Temperature : -5~55°C Humidity: 0~95%
CO ₂	GMW22/Vaisala(Finland)	0~5000ppm, ±20ppm
NH ₃	TS-3000TX/Hwasung(Korea)	0~150ppm, ±3%FS
H ₂ S	TS-3000TX/Hwasung(Korea)	0~30ppm, ±3%FS
Data Logger	HSDL-08S/Hans(Korea)	8 Channel
Dust	Digital 3411/Kanomix(Japan)	0~9999cpm, ±10%FS

그리고 예비실험에서 계측시스템의 암모니아 센서는 산화반응 결과가 계속 누적되어 연속적인 측정이 불가능하였다. 따라서 암모니아 센서를 일정시간 산화반응 후 외부로부터 신선한 공기를 센서부에 강제로 불어 넣어주어 환원반응을 일으킬 수 있도록 그림3과 같은 가스/공기 자동흡인장치를 설계 제작하였다. 즉 이 장치의 작동은 두 개의 타이머로써 5분동안 돈사내의 가스를 흡인하여 가스를 측정하고, 15분동안은 돈사내 가스흡인을 중단하고 돈사

외부 공기만을 흡인하는 구조이고, 따라서 암모니아 가스농도를 20분 간격으로 연속적인 측정이 가능하였다.

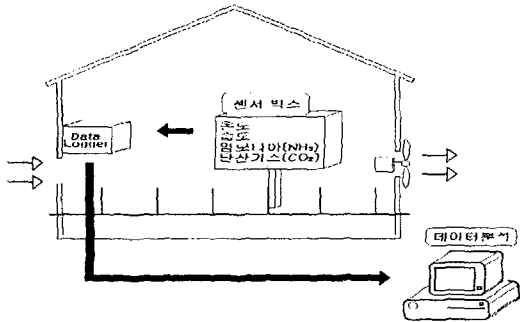


Fig. 1 Schematic diagram of the measurement system.

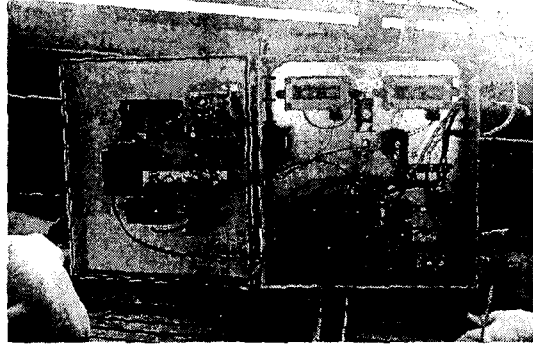


Fig.2 Internal view of the measurement system.

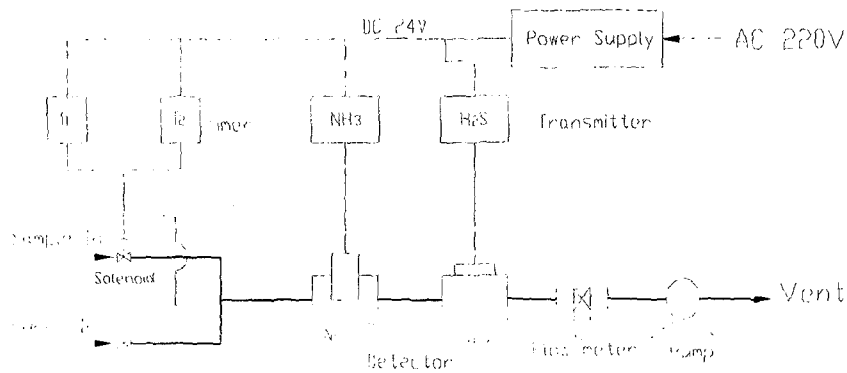


Fig. 3 Schematic diagram of the automatic air and gas suction system.

나. 시험측사

경기도 화성군에 위치한 요셉농장의 슬러리 돈사와 스크레파 돈사에 계측시스템을 설치하여 2001. 2.14~4.20 동안에 비육돈사 내부환경을 연속적으로 측정하였다. 동시에 암모니아 가스의 정량분석을 위해 일정간격으로 가스를 포집하여 실험실에서 대기오염 공정시험방법(1999)에 의거하여 측정하였다. 공사로 사용한 슬러리 돈사의 규모는 16.5×8.7m², 14방, 120수이었고, 스크레파 돈사는 40.0×9.6m², 26방, 350수이었다.

다. 암모니아 가스 정량분석시험

돈사내부의 암모니아 가스 포집을

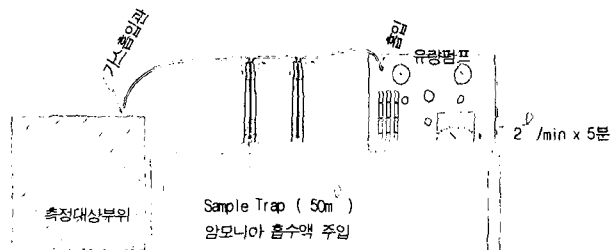


Fig. 139 Ammonia-gas trapping device.

위해 그림4와 같은 가스포집장치를 제작하였고, 정오를 전후하여 각 돈사의 위치별(입구, 중간, 출구) × 높이별(바닥면 0cm, 돼지코 높이 40cm, 사람코 높이 150cm)로 1회에 총 9개 지점에서 포집하였다. 진공펌프(Vapor Concentrator; Shimadzu Co., VPC-10)를 이용하여 1 ℓ/min 유량으로 5분 동안 총5 ℓ를 포집하였다. 또한 정확한 양의 가스 포집을 위하여 유량계(Dry Test Gas Meter; Shinagawa, DC-1; 1 ℓ/Rev)로 총 유량을 동시에 측정하였다.

포집된 암모니아 가스는 실험실에서 대기오염공정시험법에 따라 분석하였고, 그림5는 분석과정을 요약한 것이다.

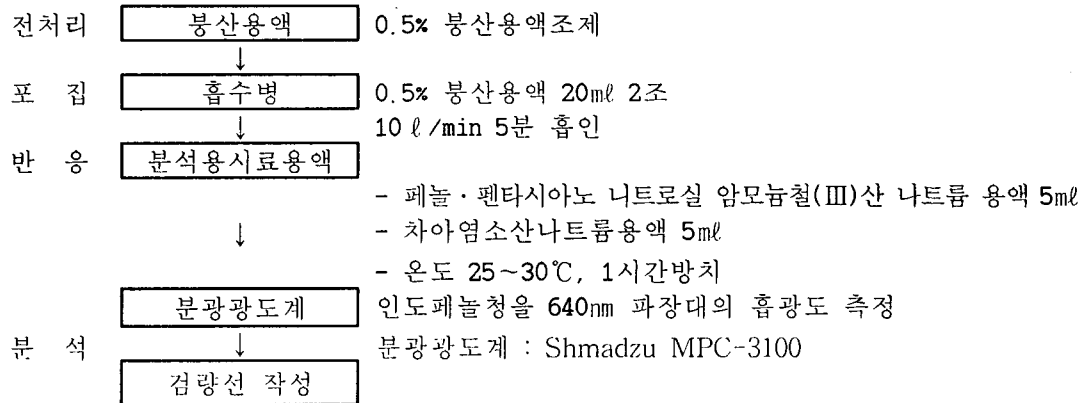


Fig. 5 Analysis procedure for ammonia gas.

라. 분진농도 측정

돈사 내부의 분진농도를 측정하기 위해 광산란식 Digital 분진계(Kanomax사)를 이용하여 암모니아 가스를 포집하는 동일한 위치에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 돈사내부의 1일 환경변화

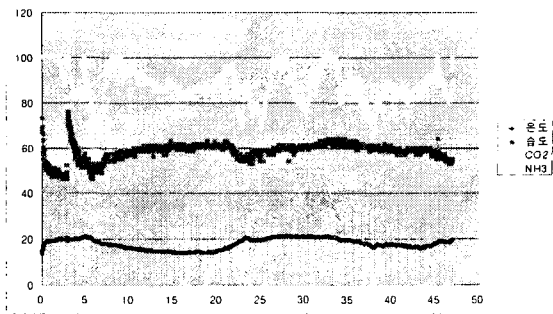
그림 6과 그림7은 각각 슬러리 돈사와 스크래퍼 돈사의 1일 환경변화를 나타낸 것이다. 센서를 설치한 초기에는 다소 불안정한 상태를 유지하다가, 약 3시간이 경과된 이후에 안정한 상태에 도달하였다.

1) 암모니아 가스 농도

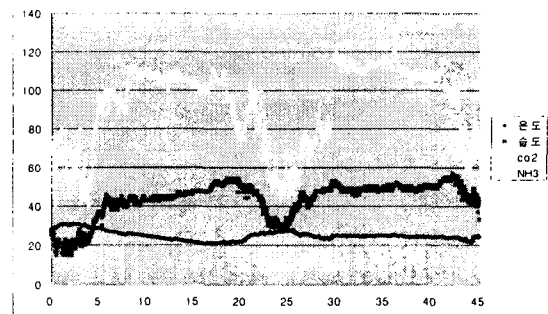
슬러리 돈사의 경우 21~39ppm으로 매우 높은 가스농도를 나타냈고, 양쪽 출입문을 열어놓는 낮에도 크게 떨어지지 않았다. 이는 돈사의 위치가 안쪽에 배치되어 있어 외부 바람의 영향을 받지 않았고, 특히, 슬러리돈사의 경우 분뇨가 돈사 하부에 저장되어 있고 돈사내부 온도가 20℃ 정도를 유지하여 암모니아 가스가 계속적으로 발생되어 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

한편 스크래퍼 돈사의 가스농도는 새벽 04:00~07:00전후에 29ppm까지 높게 올라갔지만, 문을 열어놓는 08:00이후 급격히 떨어지고, 10:00~18:00에는 10ppm 이하를 나타냈다. 그리고 스크래퍼 돈사는 하부의 분뇨를 매일 1회정도 제거하므로 훨씬 낮은 가스 농도를 유지하

고 있었다. 또한 측정돈사의 위치가 제일 가장자리에 위치하고있어 외부로부터 공기유입이



Scale : CO₂×20



Scale : CO₂×8

Fig. 6 Daily changes of the environment of the slurry pig-housing. Fig. 7 Daily changes of the environment of the scraper pig-housing.

훨씬 용이하였고, 돈사 바닥으로부터 유입된 공기는 돈사내부의 공기유동 및 가스 환기에 큰 역할을 하는 것으로 판단된다.

2) 이산화탄소

슬러리 돈사의 경우 1400ppm에서 공시센서의 최대치인 2,010ppm까지 큰 폭으로 변화하였고, 주간과 야간 사이에 일정한 경향을 나타내지 않았다. 특히 센서의 포화상태를 보완하기 위하여 측정범위가 2,000ppm보다 큰 센서로의 교환하였다. 스크레퍼 돈사에서는 8:00~18:00 주간에는 1,000~1,800ppm이었고, 22:00~02:00에서 2,300ppm으로 가장 높게 나타났다.

3) 온·습도

3월중에 측정한 슬러리 돈사의 온도는 21:00~08:00에서 돼지 사육 적정온도인 17℃이하이었고, 그 이외의 시간대에는 18~21℃로 1일 온도차는 4℃정도로 편차가 적었다. 4월중에 측정한 스크레퍼 돈사의 온도는 야간(01:00~09:00)에도 20~22℃의 온도를 나타냈고, 주간에는 24~28℃의 높은 온도를 나타내 주야간 온도차가 슬러리 돈사에 비해 크게 나타났다.

슬러리 돈사의 습도는 55~61% RH로서 스크레퍼 돈사의 30~55%RH 보다 높게 나타났다. 특히, 슬러리 돈사는 주야간 편차가 5~6%에 불과한 반면에, 스크레퍼 돈사에서는 12:00~14:00에 30~32%RH로 가장 낮았고, 새벽 6:00~7:00에 55%로 가장 높게 나타나 주야간의 편차가 매우 크게 나타났다.

나. 암모니아 가스농도

암모니아 가스는 양돈시설에서 발생하는 악취중에서 가장 큰 비중을 차지할 뿐만 아니라 분진과 함께 돈사 내부 공기의 질을 결정하는 주요성분이다. 지금까지 국내에서 조사된 결과는 주로 가스검지관에 의한 것에 불과하였다. 본 연구에서는 돈사용 암모니아 센서 개발에 필요한 기초데이터를 얻고자 돈사 형식별, 위치별 및 높이에 따른 암모니아 가스농도를 포집하여 대기오염공정분석방법으로 정밀분석하였다.

표2와 표4는 각각 슬러리 돈사와 스크레퍼 돈사에서 측정된 가스농도를 나타낸 것이고, 표3과 표5는 각 돈사별 위치와 높이 따른 유의성검정 결과를 나타낸 것이다. 표 3에서 보는 바와 같이 슬러리 돈사의 암모니아 농도는 14.0~37.1ppm이었고, 돈사의 중앙이나 출입구, 즉 돈사의 위치에는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 돈사 바닥보다는 사람코의 위

치에서 높은 농도를 보였다. 한편 스크레파 돈사의 암모니아 농도는 8.4~29.7ppm으로 슬러리 돈사보다 낮았고, 슬러리 돈사에서와 마찬가지로 바닥보다는 사람코의 위치에서 높은 농도를 나타냈고, 위치에는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 특히 위치별 및 높이별 가스농도의 변화는 돈사내부의 공기 유동현상에 따라 큰 영향을 받기 때문에 위치별, 높이별 경향을 분석하는 데는 한계가 있을 판단된다.

Table 2 Ammonia concentration with position and height in slurry pig-housing.

Position	Height	Date			
		2001. 3. 7	3. 9	3. 13	3. 15
Inlet	0cm	34.2 ppm	19.7 ppm	30.7 ppm	36.1 ppm
	40cm	21.2	23.3	31.5	29.1
	140cm	23.6	30.9	39.1	36.9
Middle	0cm	23.0	27.4	35.3	19.9
	40cm	22.8	33.1	36.3	35.2
	140cm	26.0	37.2	39.9	35.6
Outlet	0cm	9.0	34.2	25.6	7.5
	40cm	22.8	33.7	32.4	12.1
	140cm	24.0	35.3	34.9	27.6

Table 3 Ammonia concentration with position and height for slurry pig-housing.

Factors	Treatments	Date			
		2001. 3. 7	3. 9	3. 13	3. 15
Position	Inlet	26.3a	24.6b	33.7b	34.0a
	Middle	23.9a	32.5a	37.1a	30.2a
	Outlet	18.5a	34.4a	30.9c	14.0b
Height	0cm	22.0a	27.0b	30.5c	21.1b
	40cm	22.2a	30.0b	33.4b	25.4ab
	150cm	24.5a	34.4a	37.9a	31.6a

Average followed by the same letter are not significantly different at 95% confidence level using Duncan's Multiple Range Test

Table 4 Ammonia concentration with position and height in scraper pig-housing.

Position	Height	Date				
		2001. 3. 27	3. 29	4. 9	4. 11	4. 20
Inlet	0cm	29.1ppm	25.0ppm	14.3ppm	16.2ppm	11.1ppm
	40cm	32.0	22.9	14.5	12.3	12.1
	140cm	28.0	24.9	22.3	17.0	13.0
Middle	0cm	21.1	26.1	19.5	10.5	12.7
	40cm	20.0	16.8	15.7	9.8	10.5
	140cm	17.9	15.1	20.1	13.5	18.9
Outlet	0cm	15.8	16.6	13.4	7.2	7.5
	40cm	15.1	12.9	14.5	7.6	9.8
	140cm	20.0	16.1	27.3	10.3	14.2

다. 분진농도

돈사내 분진은 주로 사료가 굵이될 때, 돈사바닥에서 분뇨가 건조되는 과정에서, 돼지가

피부를 벽에 문지를 때 및 건축자재로부터 발생된다. 표6은 슬러리 돈사와 스크레퍼 돈사의 위치별, 높이별 분진농도를 나타낸 것으로, 위치 및 높이별 차이를 나타내지는 않고, 17~42cpm로 나타났다.

Table 5 Ammonia concentration with position and height for scraper pig-housing.

Factors	Treatments	Date				
		2001. 3.27	3.29	4. 9	4.11	4.20
Position	Inlet	29.7a	24.3a	17.1a	15.2a	12.1ab
	Middle	19.7b	19.4b	18.8a	11.3b	14.0a
	Outlet	17.0b	15.2c	18.4a	8.4c	10.5b
Height	0cm	22.0a	22.6a	15.7b	11.3b	10.5b
	40cm	22.4a	17.6b	14.9b	9.9c	10.8b
	150cm	22.0a	18.7b	23.6a	13.6a	15.4a

Average followed by the same letter are not significantly different at 95% confidence level using Duncan's Multiple Range Test

Table 6 Dust concentration of position and height for slurry and scraper pig-housing.

Factors		Slurry				Scraper				
Position	Height	3. 7	3. 9	3. 13	3. 15	3. 27	3. 29	4. 9	4. 11	4. 20
Inlet	0cm	22	17	34	26	17	24	24	33	20
	40cm	22	19	35	32	20	25	18	32	17
	140cm	23	23	31	31	23	26	20	42	19
Middle	0cm	25	22	40	32	25	35	20	30	32
	40cm	26	29	34	36	22	29	21	29	20
	140cm	26	30	32	33	29	30	26	35	21
Outlet	0cm	19	23	31	21	26	24	19	28	21
	40cm	25	29	32	22	22	34	18	27	20
	140cm	28	31	34	28	29	31	20	28	22

4. 요약 및 결론

이 연구는 돈사내부의 환경을 연속적으로 계측하고, 동시에 양돈시설의 환경에서 발생되는 악취중 가장 큰 비중을 차지하는 암모니아 가스를 정량분석하여 암모니아 가스센서 개발을 위한 기초 데이터를 얻고자 수행되었다.

1) 돈사내부의 온도, 습도, 이산화탄소, 암모니아, 황화수소 등 환경변화를 연속적·실시간 측정이 가능한 환경계측시스템을 개발하여 슬러리 돈사와 스크레퍼 돈사에 설치하여 시험하였다.

2) 암모니아 가스농도는 슬러리 돈사의 경우 21~39ppm으로 매우 높은 가스농도를 나타냈고, 양쪽 출입문을 열어놓는 낮에도 크게 떨어지지 않았다. 그러나 스크레퍼 돈사에서는 새벽 04:00~07:00전후에 29ppm까지 높게 올라갔지만, 문을 열어놓는 08:00이후 급격히 떨어지고, 10:00~18:00에는 10ppm 이하를 나타냈다.

3) 온도는 슬러리 돈사의 경우 야간에 돼지 사육 적정온도인 17°C이하이었고, 그 이외의 시간대에는 18~21°C로 1일 온도차는 4°C정도로 편차가 적었다. 반면에 스크레퍼 돈사의 온도는 야간에 20~22°C, 주간에는 24~28°C로 주야간 온도차가 슬러리 돈사에 비해 크게 나타났다.

4) 습도는 슬러리 돈사가 55~61%RH로서 스크래퍼 돈사의 30~55%RH 보다 높게 나타났다. 슬러리 돈사는 주야간 편차가 5~6%에 불과한 반면에, 스크래퍼 돈사에서는 12:00~14:00에 30~32%RH로 가장 낮았고, 새벽 6:00~7:00에 55%RH로 가장 높게 나타나 주야간의 편차가 매우 크게 나타났다.

5) 대기오염공정시험법(인도페놀법)에 의해 분석된 암모니아 농도는 공시된 두 개 돈사의 중앙이나 출입구, 즉 돈사의 위치에는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 돈사 바닥보다는 사람코의 위치에서 높은 농도를 보였다. 암모니아 가스농도는 슬러리 돈사에서 14.0~37.1ppm로 스크래퍼 돈사의 8.4~29.7ppm 보다 훨씬 높게 나타났다.

6) 분진농도는 돈사의 형식, 돈사의 위치 및 높이에 유의차가 나타내지는 않고, 17~42cpm로 나타났다.

5. 참고문헌

- 1) 대기오염공정시험방법. 1999. 환경부고시 99-93호
- 2) 이진우 외 6인, 1996, 밀폐형 분만, 자돈사의 환기체계별 환경변화 비교연구, 축산기술연구소 시험연구보고서 pp. 643-651
- 3) 양승주, 현재석, 양창범, 고석민, 1998, 육성비육돈에 대한 생균제의 첨가 급여가 분악취 및 파리유충발생에 미치는 영향, 축산시설환경 4(1) : 9-20
- 4) Jacobon, L. D., K. A. Janni, and V. J. Johnson. 1996. Toxic gas and dust concentrations inside Minnesota pig facilities. In Conf. Proc. Intn'l. Conference on air Pollution from Agricultural Operation, 7-9 February 1996, Westin Crown Center, Kansas City, Missouri. Ames, Iowa: Midwest Plan Service.
- 5) O'neill, D. H., and V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odor nuisance from livestock buildings. 3. Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. J. Agric. Engng. Res. 53(1): 23-50
- 6) Pomeroy, R. D. 1976. The problem of hydrogen sulfide in sewers. London, England: Clay Pipe Debelopment Assoc. Ltd
- 7) Schiffman, S. S., J. J. Classen, B. G. Kermani, and H. T. Nagle. 1996. Application of an electronic nose to differentiate odors from exhaust fans and lagoons. In Conf. Pro. Intn'l. Conf. on Air Pollution from Agricultural Operation, 7-9 February 1996, Westin Crown Center, Kansas City, Missouri. Ames, Iowa: Midwest Plan Service.
- 8) Tchobanolous, G., and F. L. Burton. 1991. 3rd Ed. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. New York, N. K.: Metcalf & Eddy, Inc.
- 9) Zhang, R., P. N. Dugba, N. Rashid, and D. S. Bundy. 1996. Surface aeration of anaerobic lagoons for odor control of swine manure. In Conf. Pro. Intn'l. Conf. on Air Pollution from Agricultural Operation, 7-9 February 1996, Westin Crown Center, KansasCity, Missouri. Ames, Iowa: Midwest Plan Service.