

## 고상식돈사의 분뇨처리에 관한 연구

정종원 · 유용희 · 박규현 · 감동환 · 이문주

농촌진흥청 축산과학원

### A Study on the Environmental Characteristics of a Two-storey Pig House for the Control of Manure

Jeong, J. W., Yoo, Y. H., Park, K. H., Kam, D. H. and Lee, M. J.

National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, Korea

#### Summary

This research was conducted to examine proper manure treatment methods for a high-rise swine barn with results of the fact-finding survey on manure treatment methods used in high-rise swine barns and sawdust swine barns in Korea. The average temperatures on bedding of control, T1, and T2 were between 25.3~25.4°C with little difference. Air flow rate of T2 was slower than those of control and T1. Dust generation in control was 54 cpm which was higher than T1 and T2. The average ammonia concentration in control was highest showing 6.0 ppm, ranged from 0.5 to 14.5 ppm, with statistical difference ( $p < 0.05$ ), compared to T1 (2.8 ppm) and T2 (2.6 ppm). Sawdust spreading used in control and T1 decreased ammonia concentration. T1 showed the lowest concentration of CO<sub>2</sub>. Water contents of control and T2 were close to the proper water content, 65%. T1 had the highest water content and pH, and the lowest organic matter and C/N ratio. The volumes of sawdust spread per head were 0.26 and 0.27 m<sup>3</sup> in control and T2, respectively, which was less than T1. Operating cost such as an electricity bill for blowers was cheap in T2. Hence, T2 bedding sawdust up to 10 cm thick and periodically spreading additional sawdust from second story was recommended.

**(Key words :** Two-storey pig house, Pig manure, Odor, Sawdust)

#### 서 론

국내 양돈산업의 변화는 사육시설의 대규모화로 인하여 사육가구당 사육두수 또한 크게 증가하고 있는 추세이며 소규모 사육농가들은 감소하고 있다. 이와같이 전업화 기업화 농가들이 증가함에 따라 과밀사육으로 인한 분뇨처리 등 환경문제가 발생하게 되었고 (Sutton and Power, 1996), 더불어 돈사내·외의 환기, 미세먼지 등 환경문제 등이 발생하

게 되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 돈사내 환경을 제어하기 위한 돈사의 구조 (유 등, 1998), 돈사환경 (최 등, 1999; 최 등, 2000) 및 공기유속을 위한 덕트환기시스템 (송 등, 2002) 등 많은 연구가 수행되어지고 있다. 한편 발생하는 가축분뇨의 처리시설은 대부분 돈사와 분뇨처리 시설이 별개 시설로 분리 설치 활용되고 있다. 육성비육 돈사는 69.9%가 개방식이고 분뇨처리는 48.9%가 슬러리형태 (축산연구소, 2003)이지만 분

Corresponding author : Jeong, J. W., Institute of Animal Science, R.D.A, Suwon, Korea.

Tel : 031-290-1724, E-mail : jjwjeong@rda.go.kr

분뇨처리방식은 더욱 복잡하여 크게 슬러리, 스크레파, 인력수거 등의 방법과 2개이상 혼합된 분뇨처리방식이 많다. 이러한 이유는 대다수 농가가 일관사육에 치중되어 있고, 전국적으로 일관사육이 보편화된 상태로 사육방식에 따라 분뇨처리 방법도 다양하게 이루어지고 있기 때문이다(농림부, 2004). 이러한 돈사구조는 악취발생이 지속적으로 이루어지며 확산을 방지하기 위한 노력을 어렵게 하고 있다. 또한 돈분뇨는 퇴비장에서 별도 처리됨으로 추가노동력이 필요하고 관리가 복잡하며 퇴비장에서 발생하는 심한 악취는 민원의 대상이 되고 있다. 최근에는 이러한 복합적 문제들을 해결하기 위하여 돼지사육과 분뇨처리를 동시에 처리할 수 있는 일체형 고상식돈사에 관한 연구가 시작되었고, 그후 미국(Stowell 등, 2000; Keener 등 1999; Sun 등, 2002)과 캐나다(Fleming, R. and MacAlpine, M. 2001)에서 많은 연구가 수행되고 있다. 이 고상식 돈사 원리는 고상식 산란계사에서 시작되었고 분뇨처리와 돼지사육을 한 공간내에서 처리하기 위하여 아이오와대학에서 개발되었다(Mescher et al., 1999; Tomas Menke, 2000). 고상식돈사의 특징은 2층에서 돼지사육과 1층에서 분뇨를 처리할 수 있도록 고안된 것으로, 분뇨처리와 동시에 악취 저감 등을 할 수 있다고 보고되고 있다(www.Highrisehogs.com). 국내에서는 이를 변형하여 좁은면적의 부지이용율을 높이고자 2층돈사가 지역적으로 건축되고 있는 것으로 조사되었다(정 등, 2005). 국내의 2층돈사는 대개 1층과 2층에서 모두 돼지사육을 하고 있지만 분뇨처리와 악취발생 등의 문제점이 지속적으로 발생되고 있다. 최근에 강화되고 있는 악취방지법과 가축분뇨의 해양투기 금지 등 가축분뇨와 악취문제의 해결없는 지속적인 양돈업의 유지가 불가능하다. 따라서 친환경적으로 돼지사육과 동시에 가축분뇨와 악취저감이 가능한 고상식돈사를

수원에 있는 국립축산과학원에 건축하였고 1차적으로 분뇨처리의 적합성을 검토하였다. 본 연구는 돼지사육과 분뇨처리가 일체형으로 조합된 고상식돈사에 적합한 분뇨처리방법을 선정하고자 2004년 4월부터 11월까지 고상식돈사의 1층 분뇨처리상에서 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시돈사의 형태

고상식돈사 구조는 일반돈사 구조와 다르게 지상 2층 철근 콘크리트 및 H 빔철골조로 1층 분뇨처리와 2층 돼지사육을 위한 일체형 구조로 설계되었다(그림 1). 2층에 육성돈을 입식하고 분뇨가 퇴적하는 1층의 분뇨처리장에서 수분조절재로 톱밥을 사용하였다. 돈사의 면적은 29.0×9.0×7.5 m(가로×세로×높이)로, 1층 분뇨처리상의 면적을 211.2 m<sup>2</sup>로 두었고 원활한 분뇨처리를 위해 스키드 로더의 작업높이 및 공간을 고려하였으며, 그밖의 것은 축협중앙회(1997)의 가변형 축사표준설계도를 참고하였다. 실험기간동안에는 육성돈의 보온을 위하여 계절에 맞는 환기팬을 가동하였고 특히 분뇨처리상으로 사용되는 일층은 환기가 대단히 중요한데, 환기팬 설치위치는 Stowell 등(2002)의 보고와 같이 1층 분뇨처리상 바닥기준 1.6 m에 설치하였다. 설치대수는 1층 측벽에 6대씩 총 12대를 설치하였고, 사용된 환기팬은 날개지경 630 mm, 소비전력 550W, cfm 6,900, RPM 910인 환기팬을 사용하였다.

### 2. 분뇨처리

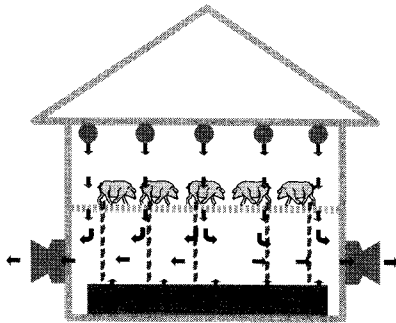
1층 분뇨처리상의 적합한 분뇨처리 방법을 구명하고자 3개 처리구(Control 1: 톱밥 10 cm 충전-브로어시스템-주기적 톱밥살포, Treatment 1: 톱밥 40 cm 충전-분뇨퇴적 및 Treatment 2: 톱밥 10 cm 충전-주기적 톱밥

Table 1. Two-storey pig house specification

Item	Pig house specification			Corridor (m)		
	Standards(m) (W×L×H)	Area (m <sup>2</sup> )			One-story	Two-story
		CA	TA	CBA	Aisle	Window
Site A	29.0×9.0×7.5	261.0	522.0	211.2	—	0.9

※ CA : construction area, TA : total area, CBA : manure storage area

※※ Site A : National Institute of Animal Science



<고상식돈사 내부 모식도>

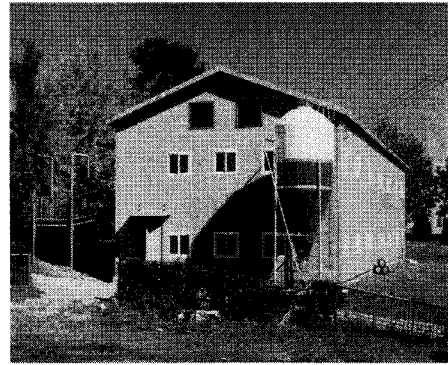


Fig. 1. Illustration and photo of an on-going construction of a two-storey pig building at NIAS in Suwon.

살포)를 두고 2004년 수원에 있는 축산연구소에서 수행하였다. 고상식돈사의 1층 분뇨처리장에서 칸막이로 구분된 처리별로 환경변화를 알아보기 위하여 온도, 공기유속, 분진을 조사하였다. 조사를 위해 사용한 측정기 모델 및 사양은 표 2와 같다.

### 3. 시료채취 및 유해가스

갈짚으로 사용된 톱밥과 섞여진 돈분뇨의

물질성상 변화와 수분함량을 알고자 시험후의 돈분뇨를 조사하였고, 돈분뇨 슬러리의 이화학적 성분 분석은 시험종료시 6개 지점에서 약 500g의 시료를 채취하여 60℃ dry oven에서 48시간 건조후 분석을 실시하였다. 슬러리의 분석을 위해 pH는 Digital pH meter (DMP-600)을 이용하여 측정하였고, 그 외 수분, 유기물, 탄질비 등의 분석은 축산연구소 분석기준(1996)에 준하여 분석하였다. 또한 유해가스 농도를 조사하기 위하여 암모니아

Table 2. Specifications of the measuring instruments

Item	Model	Specification
Temperature <sup>1)</sup>	TSI 8360-M-GB	0~100℃
"	CR200-series 109	-50~+70℃
Relative humidity	TSI 8360-M-GB	0~100%
Air speed	"	0~12 m/s, 0~50 m/s
"	Windsonic	0~60 m/s
Dust concentration	P-5 H	count particle
Gas(NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S)	Gastec 801	0~30 mg/ℓ

와 황화수소를 검지관법(detector tube)으로 조사하였다. 검지관법은 검지관의 양쪽 끝부분을 절단하여 검지기에 삽입 후 검지기의 공기 흡입기를 뽑아 분뇨처리장의 바닥으로부터 약 60 cm 높이에서 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 1 분 동안, 황화수소(H<sub>2</sub>S)는 30초 동안에서 측정하였다. 특히 작업자와 돼지에게 유해한 가스로 알려진 황화수소는 검지관 시료채취용 백을 이용하여 포집하였고 검지관 측정농도와 비교하였다. 본 시험에서 얻어진 자료는 SAS package (1998)를 이용하여 통계분석하였다.

### 결과 및 고찰

고상식돈사의 2층에서 사육되는 육성돈에서 발생하는 분뇨가 퇴적되는 1층의 분뇨처리상에서 공기중의 온도를 여름부터 가을까지 조사하였다. 분뇨처리상의 평균온도를 측정한 결과 25.3~25.4℃로 처리간에 차이가 없었고, 시험기간 동안 20℃ 이상을 유지하였으며, 분뇨처리상의 온도변화는 직접 비교할 수는 없지만 육성·비육돈사의 권장 사육 온도인 15~25℃(이성현 등, 2005) 보다 높은 것으로 나타났다. 또한 처리간의 온도변화 형태도 큰 차이없이 같은방향으로 변하는 양상을 보여주고 있으며, 또한 돈사밖의 외기 온도도 여름~가을동안은 분뇨처리상과 외기

온도와의 차이없이 유사한 온도대를 유지하고 있었으나, 11월부터는 고상식돈사의 분뇨처리상 온도보다 감소하기 시작하였다. 이 기간동안 환기팬은 최대용량으로 가동을 실시하다가 외기온도가 낮아지는 10월부터 환기율 서서히 떨어뜨리고 10월에는 20% 수준을 유지하였다. 2층의 돈사지붕에서 유입된 외기온도가 돈사를 거쳐 분뇨처리상을 통과한 다음 환기팬에 의해 외부로 배출되는 형태로 보아 분뇨처리 형태에 관계없이 1층의 분뇨처리장에는 같은 온도대를 이루고 있는 것으로 판단된다.

연구소 고상식돈사의 여름철부터 가을철까지 돼지의 성장 단계별 외기온도에 따라 환기율을 점진적으로 최대 또는 최소 환기를 실시하였다. 1층에서의 공기유동 형태를 보면 돼지가 사육되는 2층에서의 복잡한 공기유동과 연계되어 있기 때문에 2층에서 순환된 공기가 콘슬랫 부분을 통과하면서 1층으로 전달되는 것을 알 수 있다. 순환된 공기는 1층으로 하강하는데 이후 분뇨처리장에서 의 공기유동은 1층에 설치된 환기팬에 의해 외부로 배출된다. 그림 3에서는 처리별로 공기유동을 조사하였는데 Control 1과 T1의 공기유동보다 T2에서 공기유동이 적은 것을 볼 수 있고 10월 이후부터는 처리2에서 공기유동이 감소되는데 이는 앞에서 설명한 2층의 돈사환기방식에 따라 공기유동의 변동과 연

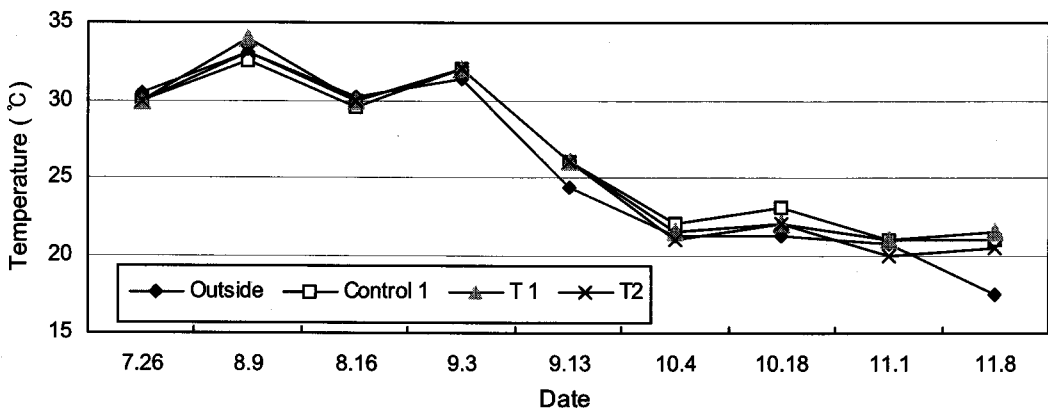


Fig 2. Periodic changes of temperature from the first storey

관되어 있고, 처리별로 칸막이를 2층에서 1층까지 설치하였기 때문에 2층의 환기방식에 따른 결과의 차이일뿐 1층의 분뇨처리에 따른 차이가 아닌 것으로 판단된다.

P-5를 이용한 먼지발생량은 표 3에서와 같이 최대 68~93, 최소 37~43 및 평균 50~54 cpm이 발생되었다. 처리간에는 Control 1에서  $54 \pm 14.3$ 로 T1과 T2 보다 많이 발생되었는데 이는 브로어에서 흡입된 외부공기가 분뇨처리상에 있는 톱밥과 분뇨내부를 통과함에 따라 먼지가 더 많이 발생된 것으로 판단된다. 또한 돈사내의 먼지는 피부박편, 털, 분변 등에서 유래하며 주로 사료와 깔짚에서 발생하는데 본 연구에서 사용한 사료는 건식 사료로서 주로 사료급여중 일정량이 분뇨처리상으로 떨어지면서 발생하는 것으로 판단된다. 계절에 따른 먼지발생량은 온도가 상

승하는 7~8월에는 높았고 9월부터 온도가 낮아짐에 따라 먼지의 발생량도 감소하는 경향을 보였다. 먼지의 특성상 악취성분과 관계가 크므로 분뇨처리상에서 발생하는 먼지는 환기팬에 의해 돈사 밖으로 배출되면서 대기중에 확산되어 악취를 발생시키므로 돈사의 악취감소를 위해서 자주 먼지제거를 실시하는 것이 필요하다.

유해가스는 검지관 (detector tube)을 이용하여 암모니아의 발생농도를 조사하였다(표 4). 시험기간중 분뇨처리상에서 발생하는 암모니아 농도는 0.5~14.5 ppm로 Control 1가 평균 6.0 ppm으로 가장 높았고, T1(2.8ppm)과 T2(2.6 ppm)에서 낮았으며, 처리간에 유의차 ( $p < 0.05$ )가 있었다. 암모니아가 Control 1에서 높은 이유는 분뇨가 점차 발효되면서 암모니아를 발생시킬때 브로어에 의해 송풍된 공기

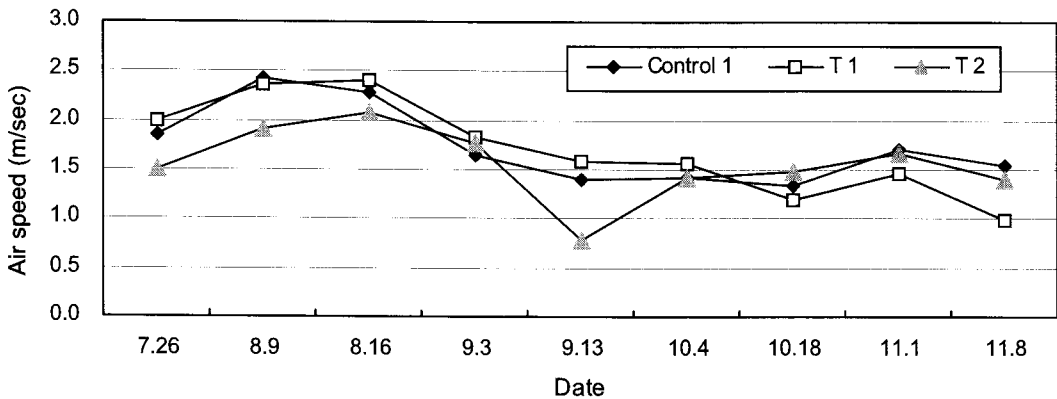


Fig. 3. Periodic changes of air-speed from the first storey.

Table 3. Average change of dust during the experimental period

(Unit : cpm)

Item	Control 1	Treatment 1	Treatment 2
Mam.	93	75	68
Min.	43	37	33
Ave.	$54 \pm 14.3$	$50 \pm 8.8$	$51 \pm 10.8$

Table 4. Ammonia concentration during the experimental period

Item	Control 1	Treatment 1	Treatment 2
Max. (ppm)	14.5	10.5	9.5
Min. (ppm)	0.5	0.5	0.5
Ave. (ppm)	$6.0 \pm 3.3^a$	$2.8 \pm 1.9^b$	$2.6 \pm 1.0^b$

가 지속적으로 분뇨밀에서 위로 암모니아를 상승시키는 것으로 판단된다. 그러나 조사기간중에 분뇨처리상에서 발생하는 암모니아 농도는 돈사의 허용농도인 20 ppm (MWPS, 1990)보다 오히려 낮은 범위를 보였다. 돈분뇨의 수분흡수를 위해 1층의 분뇨처리장에 톱밥을 깔은 후에 2층 돼지사육장에서 콘슬랏에 추가적인 톱밥살포에 의한 암모니아의 감소효과를 조사하였다(표 5). 2층 돼지사육장에서 살포된 톱밥은 분뇨처리상으로 떨어지면서 퇴적된 분뇨의 표면을 덮었다. 톱밥살포 전후의 암모니아 농도를 측정한 결과 톱밥살포 직후부터 일정한 기간동안 암모니아 발생농도가 낮아지는 경향을 보였는데 이는 톱밥이 악취물질을 흡수함과 동시에 분뇨 표면을 덮음으로 해서 분뇨로부터 암모니아의 발생을 억제하는 역할을 하는 것으로 판단된다. 황화수소는 비교적 낮은 온도에서 많이 발생되는 것으로 보고되고 있고, 돼지와 작업자 모두의 건강을 위협하는 가스로서 돈사내에서 15 mg/l 이하를 유지해야 하지만 검지관을 이용하여 측정한 결과 검출되지 않아, 본 연구에서는 표시하지 않았다.

이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)의 농도는 처리구에서 최대 각각 662, 581, 652 ppm으로 T1에서 다소 낮은 것으로 나타났으나 모든 처리구에서 기준치 이하로 측정되었다. 계절에 따른 이산

화탄소의 발생농도를 비교한 결과 여름~가을기간에 발생하는 이산화탄소 농도는 겨울철 (축산연구소, 2003)의 발생농도 3,500 ppm 보다 상당히 낮은 결과를 보였는데 이는 계절별 온도에 따른 환기량을 조절한 결과로서 겨울철 최소환기량으로 가동했을때 보다 최대환기량을 유지한 여름철에 발생농도가 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 이산화탄소 농도는 미국 NOISE (National Institute of Safety and Health)의 기준에 의하면 돈사내의 허용농도는 1,500 ppm으로 본 연구에서는 비록 돈사가 아닌 분뇨처리상이지만 허용기준치 보다 낮은 농도를 나타내었다(표 6).

바람직한 퇴비조건과 품질은 호기성 상태에서 충분히 발효되어 악취가 적고 수분 함량이 65% 정도, pH가 6.0~8.0, 탄질비 (C/N)가 30 정도가 이상적이라고 하였고 (홍지형, 2003), Sweeten (1988)은 바람직한 탄질비는 25~30라고 하였다. 본 시험의 결과로서 생산된 반부숙된 돈분뇨를 양질 퇴비와의 조건과 비교해보면 수분함량은 Control 1과 T2에서 적정 수분함량인 65%에 근접하였으나, T1에서는 수분함량과 pH가 가장 높았으며 유기물함량과 탄질비는 가장 낮은 것으로 조사되었다. 탄질비의 경우 12.59~27.09으로 적정인 30보다 낮은데, 이는 탄소원이 제한요인이 되어 퇴비화가 지연되고 질소의 손실

Table 5. Periodic changes of ammonia concentration after spreading sawdust

Item	Control 1	Treatment 1	Treatment 2
Before spreading sawdust	7.0 ± 0.25	5.0 ± 0.15	7.0 ± 0.40
1 hour after spreading sawdust	4.5 ± 0.15	3.0 ± 0.42	4.5 ± 0.62
2 hours after spreading sawdust	4.5 ± 0.06	2.0 ± 0.15	3.5 ± 0.38
3 hours after spreading sawdust	4.5 ± 0.12	2.0 ± 0.12	4.5 ± 0.50
4 hours after spreading sawdust	6.0 ± 0.21	5.5 ± 0.31	4.5 ± 0.46
5 hours after spreading sawdust	5.0 ± 0.30	5.5 ± 0.23	4.5 ± 0.17

Table 6. Average change of CO<sub>2</sub> concentration during the experimental period

Item	Control 1	Treatment 1	Treatment 2
Max. (ppm)	1,340	920	1,160
Min. (ppm)	420	420	480
Ave. (ppm)	662 ± 238.2	581 ± 158.2	652 ± 188.3

Table 7. Chemical composition of sawdust bedded manure

Item	Control 1	Treatment 1	Treatment 2
Moisture	65.2 ±5.15	69.7 ±6.61	66.9 ±4.35
pH	7.93±0.57	8.68±0.15	8.04±0.36
OM	74.01±3.16	71.84±2.35	74.44±2.62
C/N ratio	27.09±2.21	12.59±1.07	20.76±2.24

Table 8. Sawdust input during the experimental period

Item	Control 1	Treatment 1	Treatment 2
Area(m <sup>2</sup> )	70.4	70.4	70.4
Sawdust depth (cm)	10	40	10
Sawdust input (m <sup>3</sup> )	7.04	28.16	7.04
Additive sawdust (m <sup>3</sup> )	9.76	1.04	10.8
Total (m <sup>3</sup> )	16.8	29.2	17.84
Sum per head (m <sup>3</sup> )	0.26	0.41	0.27

※ Sawdust weight (kg/m<sup>3</sup>) : 250 kg

을 유발하므로 불완전한 퇴비상태라고 사료되며 따라서 분뇨 제거 후에 퇴비발효장치에서 발효를 시키거나 퇴비장으로 옮겨 후숙을 시킨 후 사용해야 될 것으로 판단된다.

실험기간 동안 수분조절재로 사용한 톱밥의 소요량과 비용을 계산하였다(표 8). 톱밥의 두당 소요량은 Control 1 (0.26 m<sup>3</sup>), T2 (0.27 m<sup>3</sup>)에서 T1(0.41m<sup>3</sup>) 보다 적게 소요됨에 따라 두당 소요 비용면에서 유리하였다. 그러나 Control 1의 경우 브로어의 설치비용이 많이 소요되고, 겨울철의 가동은 분뇨발효 온도를 저하시키는 문제와 가동시 나타난 소음, 정전과 실제 농가에서의 설치시 어려움 등 효율성이 낮은 것으로 판단된다. T1의 경우도 톱밥깊이 40 cm일때 분뇨와 톱밥이 제대로 섞이지 않으면서 따로 층이 분리되는 현상이 나타나면서 톱밥이 허실되기 때문에 톱밥의 비용이 증가한다. 따라서 본 시험결과를 통해 분뇨처리의 적절한 방법은 돼지 입식전에 1층 분뇨처리상에 톱밥을 10 cm로 충전하고 2~3주 후부터 주기적으로 톱밥을 살포하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

## 적 요

국내 2층돈사 및 톱밥돈사의 분뇨처리 실태 조사를 토대로 국내 실정에 알맞은 고상식돈사의 적정분뇨 처리방법을 구명하고자 수행하였다.

1. Control 1, T1, T2에서 분뇨처리상 평균 온도는 25.3~25.4℃로 차이가 적었고, 공기 유동은 Control 1과 T1의 공기유동보다 T2에서 공기유동이 적었으며 먼지 발생량은 Control 1에서 54 cpm로 T1과 T2 보다 많이 발생되었다.

2. 암모니아 농도는 0.5~14.5ppm로 Control 1가 평균 6.0 ppm으로 가장 높았고, T1 (2.8 ppm)과 T2 (2.6 ppm)에서 낮았으며, 처리간에 유의차(p<0.05)가 있었다. 또한 톱밥살포 전, 후의 암모니아 농도를 비교한 결과 톱밥을 살포하는 Control 1과 T1 처리구에서 감소효과가 있었다.

3. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 농도는 T1 (581 ppm) 처리구에서 제일 낮았고, 수분함량은 Control 1과 T2에서 적정 수분함량인 65%에 근접하였으며, T1에서는 수분함량과 pH가 가장 높았으며 유기물함량과 탄질비는 가장 낮았다.

4. 두당 톱밥살포량은 Control 1과 T2에서

각각 0.26, 0.27 m<sup>3</sup>로 T1 보다 적었고, 브로어 등 경영비에서는 T2 처리구가 좋았다. 따라서 분뇨처리상에서 톱밥을 10 cm 바닥에 덮고, 주기적으로 2층에서 톱밥을 살포하는 T2 처리구가 좋은 것으로 사료된다.

### 인 용 문 헌

1. Fleming, R. and MacAlpine, M. 2001. Evaluation of a 1000-head environmentally friendly facility swine finishing barn. Final report for Ontario Pork.
2. Keener, H. H., Elwell, D. L., Menke, T. and Stowell, R. 1999. Design and management of a High-Rise<sup>TM</sup> Hog facility manure drying bed. ASAE. paper #994108.
3. Menke, Thomas. 2000. Manure and nutrient management considerations of a High-Rise<sup>TM</sup> brand swine facility. Proceedings first Int. conf. on swine housing. P. 283-291. Des Moines, Iowa. ASAE. St. Joseph, Mich.: ASAE.
4. Mescher, T., T. Menke, R. R. Stowell, P. E. M. Veenhuizen and H. Keener. 1999. Design, performance, and economics of a high-rise swine finishing building, ASAE Paper No. 99-4107. St Joseph, Mich.: ASAE.
5. MWPS. 1990. Structures and Environment Handbook. Publication MWPS-8, Midwest Plan Service. Iowa State University. Ames.
6. Stowell, R. R., Keener, H., Elwell, D., Menke, T. and Foster, S. 2002. High-Rise<sup>TM</sup> Hog facility. ASAE proceedings of the 1st International Conference. P 273.
7. Sun, Huawei. Keener, H. Michel, Jr. F. C. 2002. Comparison of predicted and measured ammonia distribution in a High-Rise Hog Building (HRHB) for summer conditions. ASAE.
8. Sweeten, J. M. 1988. Composting manure and sludge. p38-44. In proceeding of the national poultry waste management symposium. Ohio State University, Columbus, Ohio. 18-19. April.
9. 농림부. 2003. 축산분뇨처리시설 운영실태 조사결과.
10. 정종원, 유용희, 송준익, 김태일, 전병수, 양창범. 2005. 국내 2층돈사와 톱밥돈사의 구조 및 분뇨처리 실태조사. 축산시설환경학회지. 11(3):169-176.
11. 축산연구소, 2003. 축산시험연구보고서. 고상식돈사 분뇨처리시스템 개발
12. 축협중앙회. 1997. 가변형축사표준설계도.
13. 농림부, 축협중앙회. 2004. 축산분뇨처리시책 및 기술교육. p70-74.
14. 유재일, 주정유, 김성철, 박종수, 장동일, 장홍희. 1998. 최적 환경제어를 위한 한 국형돈사 모델 개발. 한국축산시설환경학회지. 4(2):113-126.
15. 송준익, 유용희, 이덕수, 최희철, 강희설, 김태일, 전병수, 박치호, 김형호. 2002. 돈사 덕트 환기시스템의 효율 분석. 한국축산시설환경학회지. 8(2):73-78.
16. 이성현, 조한근, 최광재, 오권영, 유병기, 이인복, 김경원. 2005. 하절기 육성·비육돈사와 분만돈사의 암모니아 발생특성 및 환경변화. 한국축산시설환경학회지. 11(1):1-10.
17. 정종원, 유용희, 송준익, 김태일, 전병수, 양창범. 2005. 국내 2층돈사와 톱밥돈사의 구조 및 분뇨처리 실태조사. 한국축산시설환경학회지. 11(3):169-176.
18. 최홍립, 송준익, 김현태, 안희권, 고석영. 1999. 우리나라 중부지방 돈사의 구조 및 환경실태조사. 한국축산시설환경학회지 5(1):1-15.
19. 최홍립, 송준익, 안희권. 2000. 전업양축농가를 위한 남부지방 돈사의 구조 및 환경실태조사. 한국축산시설학회지. 6(1):1-14.
20. 홍지형. 2003. 가축분뇨 퇴비 품질기준 및 퇴비화 악취 저감기법. 한국시설환경학회지. 9(1):57-60.