

국내 2층돈사와 톱밥돈사의 구조 및 분뇨처리 실태조사

정종원 · 유용희 · 송준익 · 김태일 · 전병수 · 양창범

농촌진흥청 축산연구소

Field Survey on the Structure and Manure Treatment of Two-Storey and Sawdust Pig Houses in Korea

Jeong, J. W., Yoo, Y. H., Song, J. I., Kim, T. I., Jeon, B. S. and Yang, C. B.

National Livestock Research Insitute, RDA, Suwon 441-350, Korea

Summary

The farm house structure, ventilation system and manure treatment of two-storey buildings and sawdust pig houses were surveyed and analyzed. Based on the data for ten selected farms in five provinces during eight months, the goal is to eventually establish a standard two-storey pig house. Manure treatments were composting, slurry and activated sludge in two-storey pig houses, while fermentation method was done in sawdust pig house. The depth of sawdust as a litter material were 10 to 60 cm, with a duration of 1/2, 1, 3 and 6 months, respectively. The ventilation systems were the mechanical type in two-storey pig houses and natural system in the sawdust pig house. Side wall in the two-storey pig house was enclosed with insulation materials such as block, colored metal sheet and sandwich panels. The minimum ceiling height in the first floor of the two-storey pig house was 2.0 m and the maximum was 3.0 m. On the second floor, ceiling height ranged from 2.0 to 2.7 m. The construction cost in the two-storey systems were 700~140, and sidewall curtain systems were 30~40 thousand Won/pyung.

(Key words : Manure, Two-storey, Pig house, Sawdust, Ventilation, Litter material)

서 론

최근 양돈업의 변화를 살펴보면 소규모 사육농가들은 감소하고 중대규모 이상 농가들은 사육두수를 늘이는 현상이 가속화 되었다. 2004년 2월 현재 전체 양돈농가의 19.2%인 2,900여 중·대규모 농가가 전체두수의 55% 이상인 500여만 두를 사육하여 농가당 평균 사육두수는 2,000여 두에 이르고 있다. 사육

두수의 증가와 함께 전업화, 집단화, 기업화 되면서 점차 대규모의 양돈시설이 증가하였다(농림부·환경부, 2004). 양돈산업의 기반 시설은 돈사로서 사육형태에 따라 다양한 형태의 돈사가 필요하게 되었고, 경쟁력 제고를 위하여 점차 대형화와 밀폐화된 무창돈사의 형태로 바뀌어 왔다. 그러나 이러한 과밀 사양은 돈사내에 먼지, 병원성미생물, 유해기체 등 오염물질과 온도, 습도 환기 등으로

Corresponding author : Yoo, Y. H., National Livestock Research Insitute, RDA, Suwon 441-350, Korea.
Tel : 031-290-1719, Fax : 031-290-1731 jjwjeong@rda.go.kr

인한 생산성 저하와 질병발생 등을 일으키고 있다. 또한 대부분 양돈장은 돈사와 분뇨처리 시설이 별도 시설로 분리 설치 활용되고 있으며, 돈사형태중 육성비육돈사는 개방식이 69.9%, 분뇨처리방식은 48.9%가 슬러리로 되어 있다고 조사보고 하였다(축산연구소, 2003). 이러한 돈사구조와 분뇨처리 방식의 문제점은 지속적인 악취 발생과 확산방지의 어려움으로 민원의 대상이 되고 있고, 퇴비장에서 분뇨의 별도처리로 관리가 복잡하고 추가노동력과 경영비가 증가되고 있다. 또한 양돈분뇨는 오염 부하량이 높은 고농도 물질이기 때문에 유출시 수질 및 토양오염의 영향이 큰 반면에 비료성분이 높아 이를 처리하기 위해서 퇴비화 및 액비화를 실시하고 있으나 분뇨 분리 및 액비의 살포면적 확보 또한 어려운 실정이다(농림부, 2001). 그동안 국내에 건축된 돈사는 연구의 미흡과 관련자료 부족으로 국내 기상조건에 부적합한 외국의 돈사를 그대로 도입하고 건축함으로써 생산성의 저효율과 사후처리에 미흡한 결과를 불러왔고(최 등, 2000). 무창돈사 또한 여러가지 여건이 다른 선진 양돈국의 무창돈사 기술을 그대로 적용했기 때문에 많은 문제점이 발생되고 있다고 하였다(유 등, 1998). 따라서 돈사내 환경을 제어하기 위한 돈사의 구조 (structural system) 및 돈사환경(aerial environment)에 관한 학문적, 산업적 관심이 점증되었고, 유와 송(2003)은 국내의 경우 1995년을 전후로 돈사 시설과 환경에 관한 연구가 수행되기 시작하였다고 보고하였다. 그동안 수행된 돈사시설 환경에 관한 연구로는 축사의 환경제어 및 가축분뇨 처리방법(최홍림, 1993), 환기시설의 자동화(안 등, 1994), 돼지사육 시설과 환경관리(축협중앙회, 1996), 자동화 돈사시설의 환경제어 모델 개발(장, 1997), 성장단계별 표준돈사의 구조적 형태와 환경제어시스템 적용(유 등, 1998) 및 남부지방 돈사의 구조 및 환경실태조사(최 등, 2000)등 시설환경

에 관한 연구보고가 증가하고 있다. 한편 국외에서는 분뇨처리와 돼지사육을 한 공간내에서 처리하기 위한 고상식돈사가 Tomas Menke (1999)를 시작으로 일체형 고상식 육성비육돈사의 연구들(Stowell 등, 2000; Keener 등 1999; Sun 등 2002)이 활발하게 수행되고 있고, 국내에서는 이를 변형한 2층식 돈사가 지역적으로 서서히 건축되고 있다. 고상식돈사 원리는 고상식 산란계사 원리에서 착안 2층에서 돼지사육과 1층에서 분뇨를 처리할 수 있도록 된 것으로, 돼지 성장력 향상, 분뇨처리와 동시에 악취 저감 등을 할 수 있다고 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 건축된 2층돈사의 사양방식, 돈사형태, 환기시스템과 분뇨처리방식의 기본자료를 조사하고 조사된 자료를 바탕으로 돈사구조의 상부(2층)와 분뇨처리의 하부(1층)의 연계성을 이용하고 국내 실정에 적합한 분뇨처리와 돼지사육이 가능한 고상식돈사 모델개발을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 현장조사 지역 및 방법

현재 우리 나라에서 부분적으로 건축되고 있는 2층돈사와 톱밥돈사의 구조적 형태 및 돈사내에 적용되고 있는 환경제어시스템(특히 환기시스템)과 분뇨처리방법의 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 2층돈사에 대한 기초자료를 얻기 위하여 2002년 3월~10월까지 약 8개월에 걸쳐 현장조사를 수행하였다. 조사지역은 2층돈사가 있는 충남(공주), 전북(익산), 경북(봉화) 및 충북(증평)의 4개 농장을 선정하였고, 톱밥돈사는 강원(춘천), 충남(아산), 경기(화성, 안성, 용진)의 6개 농장을 선정하였다. 조사방법은 우선 해당 道の 총괄적인 축산현황을 파악한 후, 담당자의 도움을 받아 농장주와 방문일시, 조사항목 등을 협의한 후

개인농장 등을 방문하여 면담과 견학 등으로 조사항목을 중심으로 자료를 수집, 분석하였다.

2. 현장조사항목

현장조사항목으로는 돈사내 분뇨처리 방법과 수분조절제의 종류, 구입비용, 깊이 및 이용기간을 조사하였고, 돈사에서 발생하는 퇴비의 판매는 양돈경영과 상호 밀접한 관계가 있으므로 퇴비의 판매방법 및 판매단가를 조사항목에 포함시켰다. 또한 농가보급형 축사표준설계도(돈사)에서 육성비육돈사와 톱밥돈사를 신축하기 위해서 추천 단열재, 두께 및 구조등을 참고한 다음 향후 고상식돈사의 모델개발에도 고려하기 위하여 2층돈사와 톱밥돈사의 면적, 사육형태, 건축비용, 건축년도 및 환경제어시스템을 조사하였고, 돈사보온과 관련있는 돈사지붕과 벽의 단열재 종류와 두께 및 천장높이를 조사하고 분석하였다. 구체적인 조사항목은 <표 1> 과 같다.

3. 유해가스 농도 조사

Gastec 801을 사용하여 톱밥돈사의 경우 돼지들이 안정된 상태에서 검지관 양면을 절단즉시 검지에 삽입 검지기의 공기 흡입기를 뽑아 돈방 바닥으로부터 약 60 cm 높이에서 암모니아(NH₃)는 1분 동안, 약 30 cm 높이에서 황화수소(H₂S)는 30초 동안 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 분뇨 처리현황

1) 분뇨처리 공정

2층돈사에서는 4개농장중 3개농장에서 돈사내 분뇨수거는 슬러리 방식으로 처리하였고, 1개농장은 스크레파를 이용하였다. 처리공정은 수거한 분뇨를 수분조절제와 혼합하여 발효화시키는 방법을 사용하고 있었다. 이때 사용되는 수분조절제는 <표 2> 에서 보

Table 1. Details of the surveyed pig houses

| Item | Specific data gatheredation |
|---|---|
| Manure treatment | • Bulking agent(type, cost, depth, period, treatment method) |
| Structure and ventilation system of pig house | • Farm type, material(roof and side wall), ventilation systems, type of operation |

Table 2. Manure treatment, bulking agent, cost and sawdust depth of pig house surveyed

| Item | Region | Manure treatment | Bulking agent material | Cost (1,000won/20m ³) | Depth (cm) |
|----------------------|------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------|
| Two-storey pig house | Gongju | Compost and Activated sludge | Woodchip | 500 | — |
| | Iksan | Slurry and compost | Sawdust and Woodchip | 310 | — |
| | Bonghwa | Slurry | — | — | — |
| | Jeungpyong | Slurry and Activated sludge | Rice hull | 260 | — |
| Sawdust pig house | Chuncheon | Fermentation | Sawdust and woodwaste chip | 475 | 60 |
| | Asan | " | Sawdust | 420 | 60 |
| | Hwaseong | " | " | 350 | 30 |
| | Anseong I | " | " | 350 | 20 |
| | Anseong II | " | " | 360 | 10~20 |
| | Ongjin | " | " | 430 | 60 |

는 바와 같이 톱밥과 왕겨 및 수피 등 다양하게 이용하고 있었으나, 톱밥돈사에서 조사농가 모두 수분흡수율이 가장 높은 톱밥을 사용하였다. 수분조절재의 구입단가는 20m³(5톤) 당 왕겨 26만원, 수피 50만원 및 톱밥이 35만원~40만원 전후로 지역 및 농가조건에 따라 차이가 있었다. 또한 수분조절재의 사용깊이는 대체로 30~60 cm 사이에서 깊이를 조절하여 사용하였으나 안성지역 2개농장의 경우 깔짚돈사의 권장 깊이 40 cm(농림부, 2001)보다 적은 10~20 cm였다. 이러한 이유는 농장주변에 마을이 형성되어 있어서 돈사에서 발생하는 악취문제로 인한 민원발생을 방지하기 위하여 톱밥교체 기간을 짧게 유지함에 따라 축산기술연구소(1997)에서 보고한 톱밥깊이 40 cm에서 14주의 이용기간에 비하여 2~12주로 이용기간이 짧았다. 또한 톱밥교체의 노동력은 40 cm로 이용시 권장사항인 주 1회정도 발효상을 뒤집어 주는것에 비하여 10~20 cm의 경우 돼지사육 중간에 전면적인 톱밥교체로 더 많은 노동력이 소요되는 것으로 판단된다.

2) 이용기간 및 판매방법

수분조절재의 이용기간은 조절재의 깊이

따라 차이가 있으나 <표 3>에서 보는 바와 같이 평균 3개월~6개월 정도 이용하고 있었다. 톱밥이용기간의 차이는 농장여건에 따라 다른데 3개월 이용기간은 체중 30~49 kg 내외 육성돈을 약 110 kg까지 비육완료후 출하와 동시에 톱밥도 교체하는 all-in, all-out 사양방식이었고, 6개월 정도 이용기간은 돼지의 분뇨 배설량이 많아지면 깔짚재의 수분 함량이 증가함에 따라 톱밥을 뒤집어 주고 경우에 따라 톱밥을 보충하며 톱밥의 교환시기를 늦춘 것으로 이는 농림부·농협중앙회(2001)의 양돈농가 기술교육에 따른 것으로 사료되었다. 퇴비의 판매방법은 퇴비제조업체에 위탁하여 경영하는 방법과 인근 농장에 공급을 하거나, 농협 등에 의뢰하여 처리하고 있었고, 이때 처리되는 퇴비는 20 m³당 10만원~20만원 상당의 수분 조절재의 보조를 받고 있었다. 김 등(1998)은 가축분뇨를 주원료로 퇴비를 생산하는 부산물비료업체의 조사보고에서 가축분뇨 공급농가는 양돈농가가 가장 많았으며 생산된 부산물비료의 판매처별 비율에서 대부분 농가 직접판매와 농협을 통해 이루어진다고 하여 본 조사결과도 유사한 결과를 나타내었다.

Table 3. Available period of bulking agent, market place and selling price of compost manure

| Item | Region | Available period (month) | Market place | Market price (1,000won/20m ³) |
|----------------------|------------|--------------------------|--------------|---|
| Two-storey pig house | Gongju | — | CM | — |
| | Iksan | 3~6 | CM, Farm | 40~50 |
| | Bonghwa | — | — | — |
| | Jeungpyong | 6 | Farm | — |
| Sawdust pig house | Chuncheon | — | — | 250 |
| | Asan | 3~6 | Nonghyup | 100 |
| | Hwaseong | 3 | Farm | 120 |
| | Anseong I | 3(winter) 1(summer) | Nonghyup | 80~150 |
| | Anseong II | 1(winter) 1/2(summer) | Nonghyup | 100~150 |
| | Ongjin | 6 | CM, Farm | 215 |

※ CM : composting manufacturer.

2. 돈사형태 및 환기시스템

2층돈사의 경우 사육여건에 따라 다를수 있지만 주로 경사면을 활용한 건축형태를 보였다(그림 1). 공주지역의 농장은 2개동에 1층과 2층 모두 분만돈을 사육하였고, 익산의 농장은 1층 자돈, 2층 분만돈을 사육하였는데 돼지체중에 의한 돈사의 하중을 고려하였고, 경사지형을 이용한 관계로 분만돈의 이동과 사육시에 나타나는 문제점은 적은 것으로 보였다. 그러나 공주와 익산의 농장과는 다르게 증평의 농장은 평지로 1층 임신돈, 2층 자돈을 사육하였는데 돈사의 임신돈의 효율적 관리와 2층으로 이동시 지체부 손상방지 등 안전사고 예방을 위하여 1층에서 사육한 것으로 사료되었다. 또한 봉화의 농장은 2층은 육성돈, 1층은 퇴비사로 이용하였다. 톱밥돈사의 경우는 6개농장 모두 비육후 판매를 목적으로 육성돈을 사육하였다. 환기시스템은 기본적으로 무창돈사는 기계적 환기(mechanical ventilation) 시스템을 설치하였고 원치돈사는 자연환기(natural ventilation) 시스템으로 조합되어 있었다. 현장조사 결과 국내의 2층돈사와 톱밥돈사의 환기시스템은 기본적으로 <표 4>와 같았다.

Table 4. Ventilation system of pig house

| Item | Ventilation type | Inlet · Outlet |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| Two-story pig house(enclosed) | Mechanical | Sidewall inlet · outlet(fan) |
| Sawdust pig house(open) | Natural | Sidewall curtain systems |

현장조사 분석결과와 같이 우리 나라 돈사는 크게 무창과 개방식으로 나눌 수 있는데 무창의 2층돈사 입기형태는 주로 콘슬라이나 측벽입기구를 사용하였고, 배기형태는 기본적으로 팬을 사용하고 있었다. 기본적으로 이러한 2층돈사의 경우 계절별 환기율의 결정, 온습도 등의 정량적 변수분석 뿐만 아니

라, 공기유동형태 등의 정성적 변수분석 등을 고려하여 2층돈사의 환기시설에 대한 접근이 필요할 것으로 판단된다. 유 등(1996)에 의하면 톱밥발효 돈사 사육상의 온도변화는 기온이 상승하는 6월에 43~46℃까지 상승한다는 결과를 고려해 보면 고온기에 돈사사육상의 축적열 상승에 의한 열부하(heat stress)가 높을 것으로 사료된다. 조사기간중 경기도 지역에 위치한 4개소의 톱밥돈사에서 발생하는 암모니아의 발생농도는 검지관을 이용하여 조사하였다. 암모니아 농도는 7~25 ppm으로 차이를 컸는데 이러한 결과는 개방식 톱밥돈사는 자연환기 형태로서 류 등(2003)의 평가보고처럼 악취발생 관련 요인으로 지역, 계절, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 환기 등 외부환경과 사료의 질, 돈사구조, 사육규모, 분뇨경과일수 등 여러 가지 다른 환경에 기인한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 다수의 연구보고에서도 찾을 수 있는데, 온도가 낮은 겨울철(11월~1월)에 톱밥돈사의 암모니아 농도는 1.5 ppm였고(축산시험장, 1990), 겨울철 원치커튼으로 밀폐된 육성·비육돈사의 암모니아 농도는 17.2±2.9 ppm으로 여름철 고온기보다 다소 높고 환기율에 따라 변화한다는 보고(이 등, 2005)와 개방형과 무창형 비육돈사의 환기효율 결과(송 등, 2004)와 같이 겨울철 밀폐된 돈사에서는 환기효율 개선을 위한 노력이 필요하다. 또한 유 등(2004)은 여름철에 농장위치가 다른 중규모(1000두 이상)와 소규모(1,000두 이내)의 톱밥돈사내 암모니아 농도는 11.3 ppm와 2.7 ppm로 차이가 있었다고 하여 본 연구결과와 유사하였다.

3. 돈사형태별 면적 및 건축비

돈사의 형태별로 2층돈사 4개 농장, 톱밥돈사 6개 농장을 조사한 결과 2층 돈사와 톱밥돈사의 돈사형태별 면적 및 건축비는 <표

Table 5. Ammonia concentration and type of pig house that were surveyed

| Item | Region | Ammonia (ppm) | Pig house area(Pyung) | Breeding type | Construction cost ¹⁾ and year |
|----------------------|------------|---------------|-----------------------------|---------------------|--|
| Two-storey pig house | Gongju | — | 60/each floor 84/each floor | F+F ²⁾ | 1,000('95) |
| | Iksan | — | 120/each floor | N+F ³⁾ | 700('98) |
| | Bonghwa | — | 193 | G · F ⁴⁾ | 700('98) |
| | Jeungpyong | — | 170/each flore | G+N ⁵⁾ | 1,400('01) |
| Sawdust pig house | Chuncheon | — | 324 | G · F | 340('99) |
| | Asan | — | 327 | " | 460('01) |
| | Hwaseong | 12.5 | 108 | " | 200('87) |
| | Anseong I | 25.0 | 80 | " | 300('92) |
| | Anseong II | 15.0 | 122 | " | 300('91) |
| | Ongjin | 7.0 | 100 | " | 400('98) |

¹⁾ Pyung/thousand won, Construction cost : Answer from survey

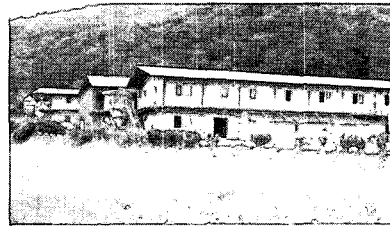
²⁾ F + F : Farrowing + Farrowing

³⁾ N + F : Nursery + Farrowing

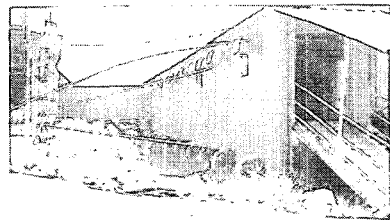
⁴⁾ G · F : Growing · Finishing

⁵⁾ G + N : Gestation + Nursery

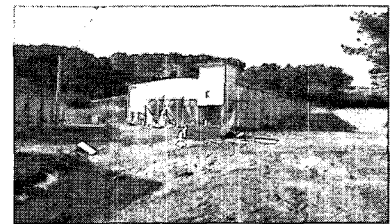
5) 와 같았다. <표 5> 에서 보는 것처럼 돈사의 면적은 농장의 사용용도 및 주변여건에 따라 상이하였으며 건축비도 무창과 개방돈사간의 차이가 컸다. 돈사의 단면적은 농장의 여건 및 사양시설 및 관리, 경영비 등과 밀접한 관계가 있기 때문에 적정 단면적의 설계는 매우 중요하다. 또한 2층돈사는 <그림 1> 에서 보는바와 같이 좁은 공간내에서 많은 두수를 사육하고자 건축되었고, 이와 같은 원인은 2층돈사는 규모가 클수록 사양 및 경영의 측면에서 효율적이라는 양돈가들의 경험에서 비롯된 것으로 사료된다. 돈사의 평당 건축비는 지역에 관계없이 2층돈사는 700천원부터 1,400천원까지 소요되어 톱밥돈사의 비용보다 크게 증가되었고, 톱밥돈사는 자체 건축한 곳을 제외하고는 300~400천원 내외로 건축비가 소요되었는데 건축비에 대한 조사는 설문 조사시 돈사가 건축된 년도를 기준으로 응답한 수치를 적용하였다.



(Gongju)



(Iksan)



(Jeungpyong)

Fig. 1. Different photos of two-storey pig houses.

4. 돈사의 재료 및 외형

<표 6> 은 돈사의 건축재료에 대한 것으로 돈사의 단열재료는 지역과 지형 및 돈사형태

에 따라서 달라질 수 있다. 2층돈사의 경우

지붕의 단열재료는 다르지만, 겨울철 외기온도를 고려한 단열두께는 축협중앙회의 가변형축사표준설계도(1997)와 축산연구소(2004)에서 권장하는 지붕두께 75~120 mm와 벽두께 50~75 mm로 적합하였다. 그러나 톱밥돈사의 경우 지붕과 벽에서는 권장하는 단열수준에 비해서도 대부분 낮은 단열치를 구성하여 여름이나 겨울철 모두 불리한 구조적 형태를 보이는 것으로 판단된다. 따라서 개방식 톱밥돈사의 측벽은 윈치커튼이 한접윈치로 설치되어 있어 중부지방의 겨울철 기상관계를 고려해 본다면 2중윈치로 보완할 필요성이 있다. 기존의 단열형태에 대한 연구결과에서 보듯이 돈사의 재료는 돼지의 생산성에 영향을 미치므로 이들 재료의 선택은 신중히 결정해야 될 것으로 사료되었다. 2층 돈사의 천장높이는 1층의 경우 2.0 m~3.0 m였고 2층은 2.0 m~2.7 m까지 설치되어 있었다. 이는 축협중앙회(1997)의 축사표준설계도에서 제시한 천장의 기준높이와 유사한 경향을 보였다. 또한 2층돈사에서 1층이 2층보다 돈사높이를 높게 시설하였는데 이는 특히 여름철 자연환기 효율을 제고시키고자 하는 복합적 요인에서 비롯된 듯하며 환기와 관계가 고려한 설계로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 국내 2층돈사 및 톱밥돈사를 조사하였으며 현재 양돈에 적용되고 있는 분뇨처리 형태, 사육형태, 환기방식 및 돈사건축비의 실태를 현장조사를 통하여 분석, 평가함으로써 이를 바탕으로 우리 나라 기후와 조건에 적합한 분뇨처리와 돼지사육이 가능한 고상식 돈사의 건축모델에 적용 가능성을 고려할 목적으로 무창 2층돈사와 개방식 톱밥돈사 농장을 방문조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 2층돈사의 분뇨에 수분조절재로 톱밥, 수피, 왕겨를 사용하였다. 톱밥돈사는 톱밥만을 사용하였으며, 수분조절재의 사용깊이는 대체로 30~60 cm로, 이용기간은 평균 3~6개월 정도 이용하였다.
2. 2층돈사에서 돼지의 사육형태는 1층에서는 주로 임신돈 및 분만돈을 사육하였고 2층은 자돈과 육성돈을 사육하고 있었다.
3. 환기시스템은 기본적으로 2층 무창돈사는 기계적 환기(mechanical ventilation)시스템을 설치하였고 톱밥돈사는 자연환기(natural ventilation)시스템으로 조합되어 있었다.
4. 2층돈사의 단열재는 블록, 칼라강판 및 샌드위치 판넬 등을 사용하였고 단열재두께는

Table 6. Insulation material and height of ceiling in pig house

| Item | Region | Insulation material and thickness* | | | |
|----------------------|------------|------------------------------------|----------------|----------------------|-----|
| | | Roof (mm) | Wall(mm) | Height of ceiling(m) | |
| | | | | 1st | 2nd |
| Two-storey pig house | Gongju | Slate + UF(100) | Block + SF(70) | 2.7 | 2.7 |
| | Iksan | CMS + UF(75) | CMS + UF(75) | 2.0 | 2.0 |
| | Bonghwa | SWP(75) | CMS + WC(50) | 3.0 | 2.0 |
| | Jeungpyong | SWP(100) | SWP(70) | 2.3 | 2.3 |
| Sawdust pig house | Chuncheon | GSS (-) | GSS(-) | 1.9 | - |
| | Asan | CMS + UF(50) | SWP + WC(50) | 4.5 | - |
| | Hwaseong | Slate + SF(50) | WC(-) | 4.0 | - |
| | Anseong I | Slate + SF(50) | WC(-) | 4.0 | - |
| | Anseong II | Slate + SF(50) | WC(-) | 4.0 | - |
| | Ongjin | SWP(75) | SWP(50) + WC | 3.0 | - |

* UF : Urethane foam, SF : Styro foam, CMS : Color metal sheet(칼라강판), SWP : Sandwich panel, GSS : Galvanized steel sheet(합석), WC : Winch curtain.

지붕 75~100 mm, 벽이 50~75 mm였으며 천장높이는 최소 2.0, 최대 3.0 m로 조사되었다.

5. 평당 건축비는 무창 이층돈사는 70~1,400 천원 이내였으며, 개방식 톱밥돈사는 자체 건축한 곳을 제외하고는 300~400천원 내외로 건축비가 소요되었다.

인 용 문 헌

1. Keener, H. H., Elwell, D. L., Menke, T. and Stowell, R. 1999. Design and management of a High-Rise™ Hog facility manure drying bed. ASAE paper #994108.
2. Stowell, R. R., Keener, H., Elwell, D., Menke, T. and Foster, S. 2002. High-Rise™ Hog facility. ASAE proceedings of the 1st International Conference. P 273.
3. Sun, Huawei Keener, H. and Michel, Jr. F. C. 2002. Comparison of predicted and measured ammonia distribution in a High-Rise Hog Building for summer conditions. ASAE.
4. Thomas Menke. 1999. Manure and nutrient management considerations of a high-rise brand swine facility. 2002 International symposium(composting and compost utilization).
5. 김재환, 박치호, 양창범. 1998. 가축분뇨 자원화 및 이용기술. 연구와 지도 39(11):9-18. 농촌진흥청
6. 농림부, 농협중앙회. 2001. 축산분뇨 처리 시책 및 기술교육. 2001 축산농가 교육교재. p63-392.
7. 농림부·환경부 합동. 2004. 가축분뇨 관리·이용대책. p37-38.
8. 농촌진흥청, 축산기술연구소, 도드람양돈조합. 2003. 효율적인 양돈분뇨처리 방안. 축산환경 워크숍. p17-34.
9. 류희옥, 조경숙, 이태호, 허 목. 2003. 양돈시설 악취관리: I. 국내 양돈 산업 현황 및 악취 특성. 한국내새환경학회지. 2(2): 69-77.
10. 송준익, 최동윤, 정종원, 양창범, 최홍립. 2004. 개방형과 무창형 육성비육돈사의 환기 효율 비교. 한국동물자원과학회지. 46(3): 459- 468.
11. 안국찬, 김철욱, 김남경, 손시환, 김두환, 송영민. 성력화를 위한 돈사시설의 자동화 및 장치설계(Ⅱ). 농림수산부. 1994.
12. 유용희, 김형호, 정일병, 장병귀, 곽정훈, 박치호, 한정대. 1996. 톱밥발효돈분 재이용이 돼지 성장에 미치는 영향. 축산시설환경학회지 2(1): 53- 62.
13. 유용희, 송금찬. 2003. 기술개발이 양돈산업에 미치는 경제적 효과. 농경공동연구. 농촌진흥청 농업경영정보관실. p34-35.
14. 유용희, 송준익, 정종원, 김태일, 최희철, 양창범, 이영운. 2004. 무창 분만·자돈사 내에서 환기시스템별 축환경 조사. 축산시설환경학회지. 10(1): 23-28.
15. 유재일, 주정유, 김성철, 박종수, 장동일, 장홍희, 임영일. 1998. 최적 환경제어를 위한 한국형 돈사 모델 개발. 축산시설환경학회지. 4(2): 113-126.
16. 이성현, 조한근, 김경원, 이인복, 최광재, 오권영, 유병기. 2005. 자연환기식 육성·비육돈사와 동절기 암모니아 발생특성. 축산시설환경학회지. 11(2): 103-110.
17. 장동일. 1997. 한국형 자동화 돈사시설의 환경제어 시스템 모델 개발. 연차보고서. 농림부.
18. 최홍립. “축사의 환경제어 및 가축분뇨의 처리방법”. 경상대학교 논문집. 1993.
19. 최홍립, 송준익, 안희권. 2000. 전업양돈농가를 위한 남부지방 돈사의 구조 및 환경실태 조사. 축산시설환경학회지. 6(1): p1- 14.
20. 축산기술연구소. 1997. 축산시험연구보고서. p476-482.
21. 축산시험장. 1990. 시험연구보고서. p222-226.
22. 축산연구소. 2003. 축산시험연구보고서.
23. 축산연구소. 2004. 양돈시설과 환기. p21-26.
24. 축협중앙회. 1996. 돼지사육시설과 환경관리: 축협중앙회 기술환경. p96-99.
25. 축협중앙회. 1997. 가변형축사표준설계도.