

자 료

축산자동화 및 축사의 악취저감 기술개발 현황

Research Trend of Automation for Livestock Production and Odor Reducing Technique in Livestock Houses

이성현
정회원
S. H. Lee

1. 서 론

국민의 식생활 수준 향상에 따라 육류소비가 점차 증가하고 있다. 이와 함께 낙농, 양돈, 양계의 사육규모가 확대되고 있다. 현대의 가축생산은 생산비 절감 및 생산성 향상을 위하여 소규모 부업농의 단계에서 탈피하여 대규모로 기업화 생산추세가 뚜렷하게 진행되고 있다. 이에 따라 제한된 공간에서 많은 량의 가축이 사육되고 있다. 소규모 부업농 단계에서는 가축생산이 주변 환경에 미치는 영향이 적었다. 그러나 제한된 장소에서 많은 가축을 키우면서 환경에 주는 영향이 크게 나타났다. 가축사육은 인간에게 필요한 육류의 공급을 위해 필수적이나 가축의 사육과정에서 분뇨의 발생은 피할 수 없는 일이다. 가축사육에서 발생하는 분뇨는 적절히 처리하면 농업생산에 매우 유익한 작용을 한다. 즉 분뇨를 발효하여 작물생산을 위한 기비 또는 추비로 사용하면 화학비료를 사용하지 않아도 생산량이 화학비료를 사용할 때와 비교하여 저하되지 않는다. 오히려 지력의 증진을 통한 작물성장을 촉진할 수 있다. 이렇게 화학비료 또는 농약을 사용하지 않고 생산한 농산물은 친환경농산물이라 하여 비싼 가격에 소비자에게 공급된다.

그러나 가축을 제한된 장소에서 대규모로 기르면서 문제가 되기 시작했다. 축산농가가 자신의 농장에서 생산된 가축분뇨를 토양에 환원할만한 대규모의 농지를 가진 경우라면 문제가 되지 않을 것이다. 그러나 대부분의 축산농가가 보유한 토지는 많지 않다. 여기서, 축산에 의한 환경오염 문제가 발생된다. 대부분의 축산농가가 발생된 분뇨를 환원할 농지가 없

다보니 축산분뇨의 처리에 많은 어려움이 있다. 따라서 많은 농가가 축분발효기 등을 구입하여 농장에서 생산되는 분뇨를 발효처리하고 있는 실정이다. 축분의 발효처리는 기계운전 비용 등 많은 경비가 들어가기 때문에 가축의 생산비를 증가시키는 요인이 되고 있다.

또한 국민의 의식수준 향상은 국민들의 쾌적한 삶에 대한 욕구를 높여왔다. 많은 국민이 농업에 종사했던 1970년대에는 축사에서 배출되는 암모니아, 황화수소, 먼지 등이 주위 이웃사람들에 인한 민원을 야기하지 않았다. 그러나 지금은 예전과 상황이 많이 변했다.

축사에서 발생하는 악취, 먼지 등은 주위 사람들의 신경을 자극하여 많은 민원이 발생하고 있다. 일본, 유럽, 미국 등에서는 이러한 민원을 줄이기 위하여 축산시설에서 배출되는 유해가스의 농도를 규제하거나 탈취시설을 갖출 것을 권고하고 있다. 이에 따라 미국, 유럽 등의 축산선진국에서는 축사로부터 배출되는 악취, 먼지 등을 제거하거나 줄이기 위해 많은 연구를 하고 있다. 축산시설에서 발생하는 대표적인 악취로는 암모니아, 유화수소, 메탄 등이 있다. 이 가운데 암모니아가 주는 환경요인이 가장 큰 것으로 인식되고 있다. 따라서 대부분의 연구과제가 암모니아와 관련하여 이루어지고 있다. 즉 축산시설에서의 암모니아 발생량 측정, 축사에서 발생하는 암모니아의 특성분석, 축사내부의 암모니아 발생원인 규명 등 많은 연구가 세계 각지에서 이루어지고 있다.

일부 국가에서는 암모니아가 단백질의 분해로부터 발생된다는 원인을 규명하여 가축에게 공급되는 사

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

료의 성분조절을 통한 암모니아 저감방법 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 낮은 농도의 암모니아는 가축이나 축사내 작업자에 위해 요인이 되지 않으나 고밀도의 가축사육으로 인해 고농도의 암모니아가 발생된다. 이렇게 발생된 암모니아는 아무런 처리 없이 축사외부로 배출되고 있다. 이렇게 배출된 암모니아 등 악취는 기류에 의해 인근 주거지역으로 이동하고 이로 인해 민원이 발생한다.

이러한 축사로부터 배출되는 암모니아 등의 유해가스로 인해 발생하는 민원을 줄이고, 친환경적인 환경보전형 축사를 하기 위해서는 축사로부터의 악취, 먼지 등을 없애는 것이 필요하다. 그러나 양돈, 양계 등 국내의 축사는 대부분 윈치커텐의 개폐에 의한 개방형 형태의 축사에서 이루어지기 때문에 환경을 조절하는 것이 매우 어렵다. 그렇지만 앞으로 지속적인 축산발전을 위해서는 어떠한 방법이 되었든 축산시설로부터 배출되는 유해가스를 제거하지 않으면 안 된다.

이 자료는 이러한 문제점을 해결하기 위한 기초를 마련하고 환경친화형 축산을 위해 축산생산과 관련된 축사시설, 분뇨처리 시설, 자동화 사양관리 시설, 유해가스 저감을 위한 연구동향 등을 조사 분석한 것이다.

2. 축사의 환경관리 및 사양관리 방법

가. 돈사

우리나라의 양돈생산은 주로 한 농장에서 번식, 육성, 비육을 모두 하는 일관사육체계가 이루어지고 있다. 이러한 일관사육체계는 모돈 등에서 자돈으로 질병이 쉽게 옮겨질 수 있어 양돈의 생산성을 저하시키는 원인이 되고 있다. 미국의 양돈생산은 성장단계별로 개별농장에서 이루어진다. 즉 번식을 하는 농장에서는 새끼를 낳은 후 조기에 이유시켜 육성, 비육 전문농장으로 새끼를 보내어 사육한다. 이 시스템은 모돈으로부터 자돈에게 전이되는 질병을 사전에 차단할 수 있어 돼지의 생산성을 높일 수 있다. 또한 각 개별농장은 번식, 육성, 비육 등을 전문적으로 하기 때문에 쉽게 기술을 축적할 수 있다. 각 양돈장에는 축사의 분뇨를 처리하기 위하여 분뇨저류장(Lagoon)과 개별 농지가 있다. 또한 각 양돈농가는 관련회사와 계약을 맺어 돼지, 사료 및 환경관련 자료를 제공받는다. 이렇게 되면 농가는 돼지의 출하에 신경을 쓰지 않고 생산성 향상을 위한 사양관리만 전문으로 하면 되는 것이다. 돈사는 대부분의 시설이 자동화되어 있어 농장주가 농장에 머물 필요가 없다.

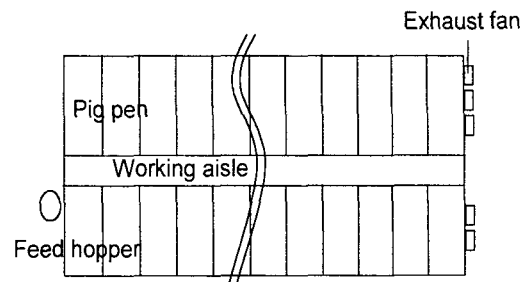


Fig. 1 A plane figure of growing or fattening pig house.

대부분의 농가는 이유자돈을 공급받아 약 180일간 돼지의 체중이 115kg에 달할 때까지 사육한 후 출하한다. 미국의 양돈농가 규모는 수백 또는 수천마리를 사육하는 중소규모에서부터 수만마리를 사육하는 대규모까지 다양하다. 대규모 농장이라고 해도 소규모 농장의 돈사건물이 그 규모만큼 많다는 것이지 돈사건물 그 자체가 크다는 것은 아니다. 미국의 육성, 비육돈사는 일반적으로 길이 70m, 폭 15m이다. 돈사 내부에는 13~16m² 넓이의 돈방이 40~50개가 있다. 각 돈방에는 20~25마리의 돼지를 수용할 수 있다. 돼지 한 마리당 사육면적은 0.6~0.7m²로 우리나라와 유사하다. 돈사의 내부는 중앙관리 통로를 중심으로 양쪽으로 나뉘어져 있으며, 대부분의 돈사에 전면 슬랫이 설치되어 있고, 분뇨는 슬러리형태로 처리된다. 슬러리피트의 깊이는 50cm 정도이고 슬러리피트로부터의 악취발생을 줄이기 위하여 물을 25cm 가량 채워 놓는다. 슬러리는 1주일에 한 번씩 돈사 외부에 있는 Lagoon으로 배출시킨다.

평면도 돈사에는 길이방향으로 라군이 있는 쪽 끝 벽면에 환기를 위한 대형팬이 설치되어 있다. 돈사내부의 환기는 부압에 의해 이루어진다. 돈사의 팬은 여름철 돈사내부를 시원하게 함과 동시에 먼지의 제거, 암모니아 및 악취 등을 제거하는데 목적이 있다. 공기의 유입은 지붕이나 다른 끝 벽을 통해 들어온다. 팬의 작동은 온도센서에 의해 조절되며 내부의 온도가 32℃이상 올라가면 세부분무를 하여 돼지의 체온을 낮출 수 있게 한다. 환경조절, 급이, 급수 등 돈사의 모든 시설은 자동으로 작동된다. 또한 각 돈사에는 출하 또는 입식시 돼지의 상하차를 위해 Ramp가 설치되어 있다. 이곳의 축사는 무창축사와 윈치커텐 개폐에 의해 환경을 조절하는 개방형 축사 등 두 가지 형태가 있다. 무창축사는 주로 번식농장에서 운영이 되고 있으며, 개방형 축사는 육성, 비육 농장에서 주로 이용되고 있다. 무창축사의 경우는 각



Fig. 2 Windowless swine house for delivery.

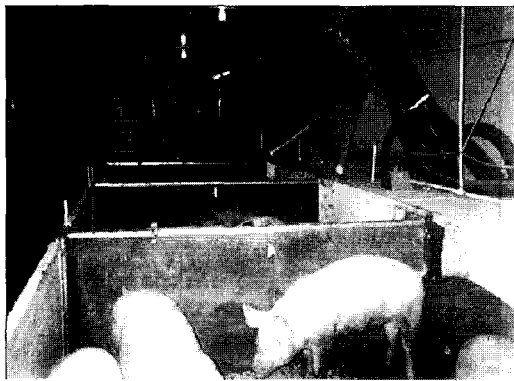


Fig. 3 Inside photo of growing and finishing pig house.

돈방별로 설치된 환기팬을 통하여 자동으로 환경이 조절되고 있다. 개방형 축사의 경우 우리나라는 환기를 위한 팬이 설치되어 있지 않으나, 미국에서는 기본적으로 환기는 강제 환기형태를 취하고 있다. 날씨가 좋은 봄과 가을에는 윈치커텐의 개폐만으로 충분히 돈사내부의 환경을 적합하게 유지할 수 있으나 여름철 고온기와 겨울철 저온기에는 윈치커텐을 이용한 환경조절은 쉽지 않다. 개방형 형태의 축사에도 환기팬을 설치하여 여름철과 겨울철에 운영을 하고 있다. 미국의 양돈장은 사료생산을 위한 충분한 경지를 보유하고 있기 때문에 대부분의 양돈농가가 분뇨 처리가 편리한 슬러리형태의 축사 시설을 선호하고 있는 것으로 생각된다.

나. 계사

계사는 산란계사와 육계사로 구분할 수 있다. 산란

계사는 많은 농장에서 계사의 내부환경을 조절하여 계란의 생산성을 높이기 위하여 무창형태로 설치하여 운영하고 있다. 무창계사는 외부의 환경변화에 의한 내부환경변화가 적기 때문에 많이 이용되고 있다. 또한 산란계사는 축사의 시설형태에 따라 고상식과 일반계사가 있다.

고상식 계사는 2층으로 되어 있어 2층에서는 닭을 사육하고 1층에는 닭이 배설한 분을 저장 할 수 있는 구조이다. 고상식 계사의 장점은 분을 처리하기 위한 별도의 시설이 없어도 되는 점이다. 고상식 계사의 계분저류장에는 배기팬이 설치되어 환기를 유도하고 있다. 고상식 계사는 외기의 습도가 낮은 지역에서 운영되면 분뇨의 처리를 별도로 할 필요가 없다. 미국 중서부지역 고상식 계사의 경우 계분의 수분 함량이 30% 내외로 매우 건조한 상태를 유지한다. 고상식 계사의 계분저류장에 모인 계분은 약 1년에 한번씩 위탁하여 처리를 하고 있다. 계사의 환기는 환기형태에 따라 터널식과 크로스식으로 구분된다. 터널식은 계사내부의 기류의 이동이 계사의 길이방향

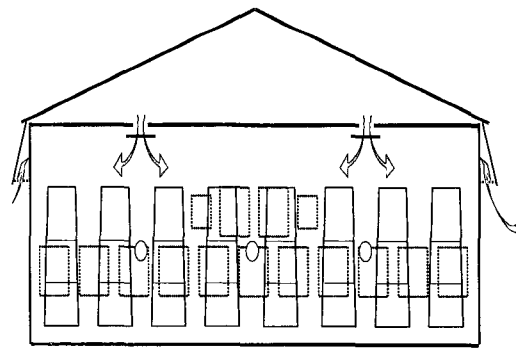


Fig. 4 A side figure of laying hen house.

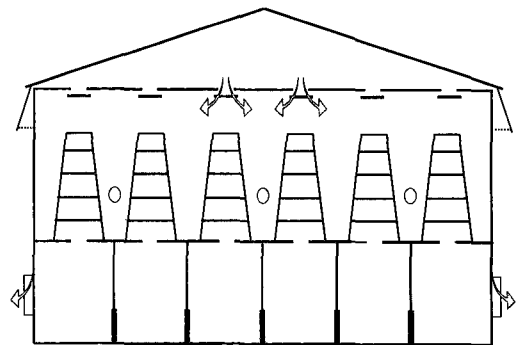


Fig. 5 A side figure of high rise laying hen house.

으로 이루어지고, 크로스식은 기류의 흐름이 계사의 폭 방향으로 이루어진다. 계사의 경우는 농장의 형태가 기업형을 유지하고 있다. 돈사와 마찬가지로 대규모 농장의 경우는 계사의 건물 동수가 많다.

각 계사 사이에는 집란을 위한 벨트컨베이어가 설치되어 있어 농장의 한 장소에서 집란 또는 선란이 이루어지고 있다. 계사에서 이루어지는 일일 작업으로는 급이, 급수, 방역 및 청소, 환경조절, 분뇨처리, 집란 및 선란, 사계수거 등이다. 현대의 대부분의 양계시설은 거의 모든 작업공정이 자동화되어 있다. 양계의 급이, 급수, 환경조절 및 분뇨처리는 사람의 손을 빌리지 않고 완전 자동으로 이루어진다. 또한 이러한 작업은 계사내부 각 케이지 열당 급이량, 급수량, 계란의 개수 등이 자동으로 계측되어 컴퓨터로 보내진다. 관리자는 컴퓨터로 전송되어 온 데이터를 보고 계사의 적정운영 여부를 판단할 수 있다. 환경조절은 계사내부에 설치된 온도센서에 의해 감지된 온도로 팬을 작동하도록 설치되어 있어 온도가 설정

온도 이상으로 올라가면 그 온도신호에 맞추어 각각의 팬이 작동한다. 계분처리하는 고상식 계사의 경우는 건물의 하층에 계분저류장이 있어 이곳에 계분이 저장된다. 계사 내부의 각 케이지에서 아래로 계분이 낙하하면 케이지 각 열 하단부에 계분이 쌓이게 된다. 쌓인 계분은 하루에 4번 스크레퍼에 의해 계분저류장으로 낙하한다. 직립식 계사의 경우는 케이지 각 단마다 아래에 벨트가 설치되어 있다. 벨트위에 쌓인 계분은 하루에 한 번씩 외부로 배출된다. 직립식 케이지의 경우 계분이 계사 외부로 배출되어 내부에 남아있지 않기 때문에 계분에서 배출되는 암모니아 등 악취를 줄일 수 있다.

계사내부의 청소 및 방역, 계란선별 및 집란 작업에는 인력이 필요하다. 양계농장의 경우 집란과정에서 계란을 크기별로 선별하는 선란시설이 있는 농장과 계란을 선별하지 않고 계란판에 담기만 하는 집란시설이 있는 농장으로 구분된다. 선란시설이 있는 농장의 경우는 계란을 크기별로 선별하여 소비자에

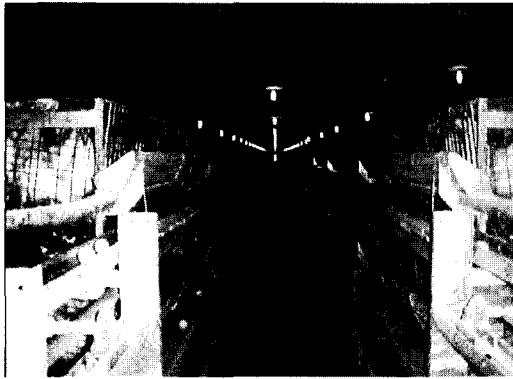


Fig. 6 Belt type laying hen house (3×8 rows).

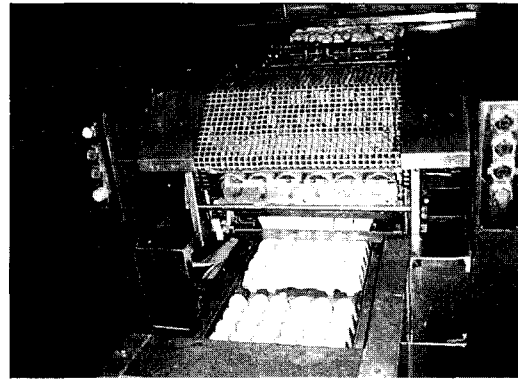


Fig. 8 Automatic inserting machine of eggs.

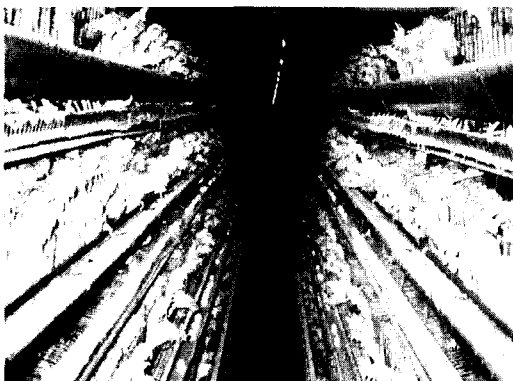


Fig. 7 High rise laying hen house (A type cage, 5×6 rows).

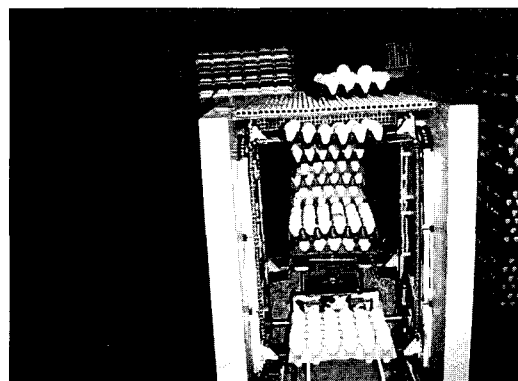


Fig. 9 Automatic machine for pile up of egg tray.

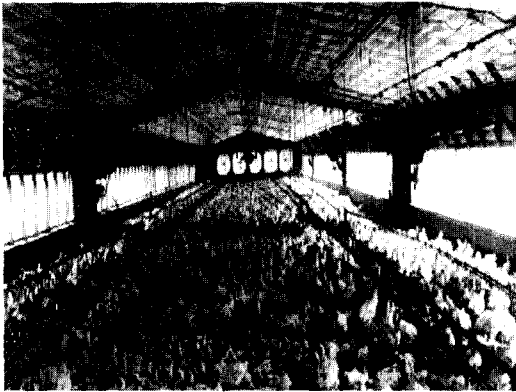


Fig. 10 Broiler house using natural ventilation.

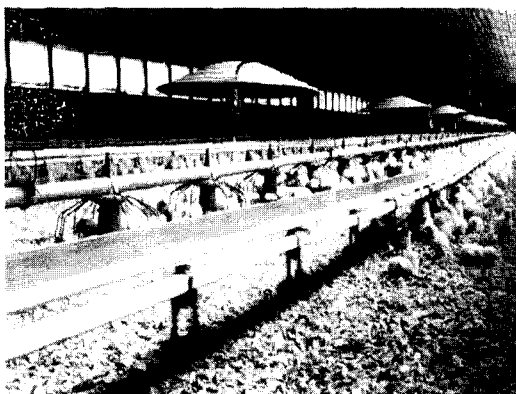


Fig. 11 Using of gas heater in broiler house.

게까지 유통을 하고 있다. 그러나 선란시설이 없는 농장의 경우는 계파회사 등과 계약을 하여 계란을 선별하지 않고 집란하여 무계로 납품을 하고 있다. 선란 및 집란과정에서 깨진 계란을 골라내는 일은 모두 인력에 의해 수행되고 있으나 그 외의 모든 작업은 완전자동화 형태로 이루어지고 있다. 미국 양계농장의 경우 사계수거, 내부청소 및 방역, 깨진 계란을 골라내는 일은 전적으로 인력에 의해 이루어지고 있으나 이를 기계화하는 것은 거의 불가능한 것으로 판단한다.

육계사는 구조와 환경관리 면에서 볼 때 우리나라 육계사육 형태와 큰 차이가 없다. 육계사에서는 바닥의 깔짚과 사료 등에 의해서 많은 먼지가 발생한다. 따라서 계사내부 공기중의 부유분진을 줄이고 여름철 고온기에 닭의 체감온도를 낮추어 주기 위해서 계사의 지붕 또는 측벽 공기유입구에 세무냉방시스템을 설치하여 운영하고 있다. 육계는 어렸을 때 난방이 필요하다. 따라서 계사의 내부온도를 조절하여 주기

위해 온풍난방기 또는 가스를 이용한 보온장치를 설치하여 이용한다. 또한 계사 내부에는 내부의 온도분포를 균일화하거나 풍속을 높여 닭의 체감온도를 낮추기 위해 내부 순환 팬을 설치하여 가동을 한다.

3. 축사의 환경특성 및 측정방법

축사의 환경은 내부 가축의 생산성 향상을 위한 환경과 축사내 작업자 또는 축사인근 주민에 미치는 환경으로 구분되나 현재의 축산환경 하면 대부분이 가축의 생산성 향상을 위한 환경이다. 그러나 주민들의 소득향상과 쾌적함을 누리려는 욕구로 인해 주거 환경에 관한 관심이 증가하고 있다. 가축의 생산성 향상을 위한 축사환경으로는 온도, 습도, 암모니아, 이산화탄소 등이다. 현재의 환경조절 방법은 대부분의 축사에서 내부의 온도변화에 따른 환기팬의 조절로 이루어진다. 여름철 고온기 또는 봄, 가을과 같은 계절에는 온도에 의한 환기방법만으로 축사의 환경을 충분히 조절 할 수 있다. 그러나 외기온도가 낮은 겨울철에는 온도만에 의한 환기는 내부의 환경을 크게 악화할 수 있다. 대부분의 축사에서 겨울에는 축사의 내부 온도환경을 유지하기 위하여 최소의 환기를 실시하고 있다. 그러나 축사 내부에서는 가축에서 발생하는 체열과 호흡에 의해 발생하는 수분, 이산화탄소, 축분에서 발생하는 암모니아 등 유해가스 등이 지속적으로 발생되어 내부에 축적이 된다. 이렇게 발생하는 수분, 암모니아, 이산화탄소 등을 측정하여 내부의 환경을 유지하는 것은 매우 어렵다. 이것은 이러한 농도들이 시간의 변화, 환기량의 변화에 따라 급격하게 변화하기 때문이다. 따라서 축사의 환경을 대표할 수 있는 지점에서 온도, 암모니아, 이산화탄소, 수분 등을 샘플링하여 환기량을 조절 할 수 있도록 통합된 시스템을 구축하는 일이 필요하다. 대부분의 축사는 중앙에 설치된 온도센서를 이용하여 환기를 하고 있다. 축사의 크기가 작은 경우는 문제가 되지 않겠지만 축사의 규모가 큰 곳에서는 중앙의 온도가 축사의 온도를 대표한다고 볼 수 없다. 따라서 규모가 큰 축사에서는 축사의 대각선 방향으로 3~5개의 온도센서를 설치하여 이들의 온도를 평균하여 환기를 하는 시스템이 이용되고 있다. 축사의 수분, 암모니아, 이산화탄소 등의 계측은 주로 축사에서 이루어지는 환기량을 측정하기 위해 이용된다. 축사에서 발생하는 암모니아는 환기량의 변화에 민감하게 반응한다. 따라서 암모니아의 발생량을 추정하기 위해서는 환기량을 정확하게 측정할 필요가 있다. 축사에서

발생하는 가스의 허용농도 한계값은 Table 1과 같다.

이들 가스성분 중 축사내부의 환경조절에 이용될 수 있는 성분은 암모니아와 이산화탄소이다. 메탄과 유화수소는 축분의 발효과정에서 발생하는 가스로 가축이 사육되고 있는 축사내에서는 거의 발생농도가 낮은 것으로 알려져 있다. 축사의 환경 중 가스, 온도 못지 않게 중요한 것이 내부의 먼지발생이다. 축사에서 발생한 먼지는 가스성분이 흡수되어 있어 환기에 의해 외부로 배출되던 먼 거리까지 유해가스를 운반할 수 있는 매개체로 작용하고 있음이 알려져 있다. 또한 축사내부의 과도한 먼지는 가축 또는 작업자의 호흡기를 손상시키는 것으로 보고되고 있다. 먼지는 그 크기에 따라 호흡기에 도달하는 정도가 다르다. 미세한 먼지는 폐까지 도달하여 장기에 손상을 줄 수 있다. 축사에서 발생하는 먼지농도는 우사에서 가장 낮고 육계사에서의 먼지농도가 가장 높다. 육계사의 경우는 계사바닥에 왕겨, 깔짚 등을 깔아주어 먼지가 많이 발생하는 것으로 생각된다. 한 연구에 의하면 양돈사에서 돼지의 건강을 고려한 먼지의 전체 농도는 3.7mg/m³(Respirable dust 0.23mg/m³), 균체독소(Total endotoxin) 1540EU/m³, 암모니아 농도는 11ppm으로 규정을 하였다.

Table 1 Threshold limit of gases in livestock house

| Emission gases of livestock house | Threshold limit(ppm) |
|-------------------------------------|----------------------|
| Hydrogen Sulphide, H ₂ S | 10 |
| Ammonia, NH ₃ | 25 |
| Methane, CH ₄ | 1,000 |
| Carbon Dioxide, CO ₂ | 5,000 |
| Nitrogen Dioxide, NO ₂ | 3 |
| Nitric Oxide, NO | 25 |
| Oxides of Nitrogen, NO _x | 3 |

4. 축사의 먼지 및 악취제거 방법

축사에서는 많은 먼지와 악취가 발생한다. 이들 축사에서 발생하는 먼지와 악취의 주성분을 밝히기 위한 많은 노력이 있어 왔다. 축사의 먼지와 악취를 제거하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 축분 또는 축사 그 자체에서의 발생을 줄이는 방법이

있다. 이것이 가장 기본적인 방법이라 할 수 있다. 두 번째는 축분 또는 축사에서 이미 발생한 먼지와 악취를 제거하는 방법이다. 현재까지의 악취 제거노력은 대부분이 두 번째 방법을 의미한다. 축사 또는 축분 그 자체에서 발생하는 악취를 줄이기 위한 방법으로는 축사내 축분의 저장기간을 줄이는 방법, 축분의 조성을 변화시켜 줄이는 방법, 축사내 축분처리 부분의 구조를 변경하는 방법, 가축에게 공급하는 사료성분을 조절하여 줄이는 방법 등 여러 가지가 있다.

축사에서 발생하는 대표적인 악취성분인 암모니아는 요산의 생물학적 분해에 의해 생성된다. 축분에서 발생하는 암모니아는 축분의 형태, 저장기간, 주위온도와 표면의 풍속 등에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 축분의 이용시 발생하는 암모니아는 이용기술(지중, 지표, 공기중 확산 살포 등), 분의 퇴비화 방법 등에 의존한다.

가. 사료첨가제

축사에서 발생하는 Respirable dust는 주로 축분으로부터 발생을 하기 때문에 사료첨가제를 이용하여 줄일 수 있다. 가축에게 급이하는 사료에 동물성 지방을 약 4% 첨가함으로써 먼지발생을 50~70% 낮출 수 있다고 한다. 그렇지만 이렇게 먼지를 줄이는 방법을 사용해도 많은 량의 먼지가 축사내 대기 중에 부유하고 있다. 따라서 축사내에서 작업하는 경우에 작업자는 방진마스크를 씌으로써 호흡기관으로 들어가는 먼지를 상당히 줄일 수 있다.

나. 물 또는 기름의 분무

물 또는 오일의 분무는 축사내에 발생한 먼지를 조절하는 유망한 방법으로 인식되고 있다.

이 방법을 사용한 한 시험에서 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 각각 76%, 54%, 52%의 먼지를 줄일 수 있음이 확인되었다. 이 실험에서는 물과 캐놀라 오일 혼합물을 사용하였다. 우사에 캐놀라 오일을 분무한 또 다른 실험에서는 Respirable dust와 Inhalable dust를 각각 81%, 85% 절감할 수 있음을 확인하였다. 그러나 물과 오일 혼합물 또는 오일을 분무할 때 점성이 물과 다르기 때문에 이를 미세하게 분무할 수 있는 기술이 개발되어야 먼지조절을 자동화할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 12는 축사내부의 상대습도와 먼지 발생량과의 관계를 나타낸 것으로 축사내 부가 건조하면 그만큼 먼지의 발생소지가 높다는 것

을 나타낸다.

Fig. 13은 축사내부에 오일을 분사했을 때 먼지농도 저감효과를 나타낸 것이다. 축사내부에 먼지가 많이 발생했을 때 오일을 분사하면 내부의 먼지농도가 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 먼지의 발생이 많은 육계사, 산란계사 등에 위 기술을 적용하면 내부의 먼지발생을 상당히 줄일 수 있을 것으로 생각된다. Oil 분무를 이용한 덴마크의 연구에 의하면 먼지의 저감효과가 50~90%에 달한다고 한다. 또한

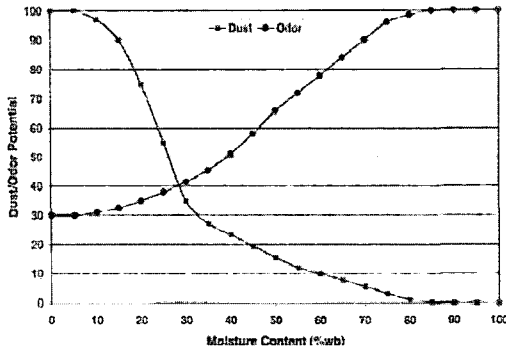


Fig. 12 Relation between dust/odor potential and moisture content.

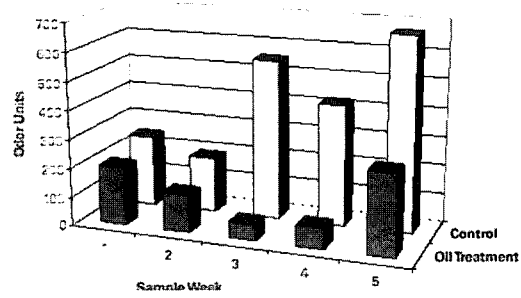


Fig. 13 Reducing effects of dust on oil spraying.

Oil 분무에 의한 먼지저감 효과를 얻기 위해서는 물과 기름을 혼합할 때 기름의 함량이 20% 이상이어야 하고, 분무입자 크기는 150 μm 이상 되어야 부유중인 입자를 응집하여 떨어뜨릴 수 있는 효과가 있음을 발견하였다. 이곳에서 캐놀라 오일을 이용하여 육성돈사에서 시험한 결과 전체 먼지농도를 79% 줄일 수 있음을 확인하였다.

산란계사의 먼지농도는 Inhalable dust의 경우 0.02~81.33 mg/m^3 , Respirable dust는 0.01~6.5 mg/m^3 으로 변화한다. 먼지에 대한 효과는 가축의 종류, 가축의 움직임

Table 2 Concentrations of dust in broiler and laying hen houses

| Category of poultry | Housing system | | Dust concentration(mg/m^3) | | Reference |
|------------------------------|----------------|-------|--|-------------|-------------------------|
| | Management | | Inhalable | Respirable | |
| Broilers | Floor, litter | | 8.2 - 9 | 1.4 - 1.9 | Ellen et al., 1999 |
| Broilers | Floor | day | 7.18 | | Takai et al., 1999c |
| | | night | 7.06 | | |
| Laying hens | Perchery | day | 7.33 | | Takai et al., 1999c |
| | | night | 2.82 | | |
| Laying hens | Cage | day | 1.51 | | Takai et al., 1999c |
| | | night | 0.86 | | |
| All poultry categories(mean) | | | 2.22 - 4.58 | 0.19 - 0.64 | Takai et al., 1999c |
| All poultry categories | | | 0.02 - 81.33 | 0.01 - 7.73 | Donham and Cumro, 1999b |
| Broilers | Floor, litter | | | 1.8 - 6.5 | Drost et al., 1990 |
| Turkeys | Floor, litter | | | <6 | Hinz et al, 1999 |
| Laying hens | Aviaries | | 2.4 - 12 | | Wachenfelt, 1999 |
| Laying hens | Aviary | | 7.6 | | Wachenfelt, 1999 |

* All the references are in the congress proceedings of the International Symposium on "Dust Control in Animal Production Facilities".

Day : 6:00~18:00, Night : 18:00~6:00

Table 3 Components of dust generated in laying hen or broiler houses

| Dust source | DM(g/kg) | Ash(g/kg) | N(g/kg) | P(g/kg) | K(g/kg) | Cl(g/kg) | Na(g/kg) |
|---------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| Airborne dust | 911.0(4.4) | 97.4(16.1) | 169.0(2.3) | 6.44(0.29) | 40.3(1.4) | 4.19(0.14) | 3.23(0.34) |
| Settled dust | 914 (3.1) | 94.8(1.9) | 130.0(2.4) | 6.66(0.13) | 29.3(0.3) | 3.46(0.32) | 2.57(0.07) |

직임, 깔짚재료, 계절 등에 따라 변화가 큼을 알 수 있다. 먼지의 발생에 가장 큰 영향을 주는 요인은 가축의 배설물에 의한 것으로 알려져 있다. 산란계사에서 오일을 10% 섞은 물을 분무했을 때 Inhalable dust를 50~60% 줄일 수 있다고 보고하였다. 이러한 각종 시험은 연구자에 따라 그 저감 농도가 다양하게 나타난다. 이것은 시험을 한 축사의 종류, 축사내부의 환경조건, 물과 오일의 희석 정도, 분무하는 시간 등에 따라 충분히 이러한 차이가 날 수 있을 것으로 판단된다. Table 2는 서로 다른 육계사 또는 산란계사의 먼지농도를 나타낸 것이다. Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 닭의 활동이 많은 주간의 먼지 농도가 밤보다 높음을 알 수 있다.

축사 내부의 먼지는 주로 사료, 깔짚재료, 동물 몸체 등에서 발생한다. 축사내 발생 먼지는 또한 가스, 미생물, 내독소(endotoxin), 피부, 분입자 등으로 알려져 있다. Aengst는 축사내 발생 먼지의 90% 이상이 유기물질(Organic material)이라고 보고하고 있다.

다. 환기율과 공기 분배

퍼지환기(짧은 시간동안 많은 환기를 하는 방법)는 짧은 시간 동안 약 60%의 먼지농도를 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이 효과는 일시적일 뿐만 아니라 축사내부의 온도를 순간적으로 낮추어 또 다른 난방비 등이 소요되는 단점이 있다. 축사내부 기류이동 패턴을 변화함으로써 내부의 발생먼지 농도를 줄이는 방법이 있다. 즉 먼지발생 소스가 많은 곳(분 처리 부분, 사료조 등)에서의 기류 속도를 낮추어 먼지의 부유를 막는 방법으로 78%의 먼지 농도를 줄일 수 있음이 확인되었다.

라. 먼지 여과장치

이유자돈사에서 Dry filter를 사용한 시험에서 전체 먼지농도를 50~60% 줄일 수 있음이 확인되었다. 이 방법에서 Inhalable dust의 제거 정도는 18~64%까지 나타났다. 그러나 이 방법은 자주 필터를 교체하거나 청소해야 하는 등의 불편함과 더불어 많은 운영비가

소요되기 때문에 일반적으로 이용되지 않는다.

마. Wet scrubber

이 방법은 운영비가 비싸고 많은 노력이 소요되기 때문에 널리 이용되지 않는다. 축사의 경우 많은 량의 환기량이 필요하기 때문이 이 시설을 가지고 축사내부의 먼지를 제거하려면 많은 시설 투자비가 소요된다. Fig. 14는 축사 또는 온실의 냉방을 위하여 설치하는 패드팬시스템을 축사에 설치하여 암모니아를 제거하는 기술을 나타낸 것으로 낮은 환기율이 이루어지는 경우 암모니아 제거율은 50%, 중간환기율이 적용되는 경우에는 33%를 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

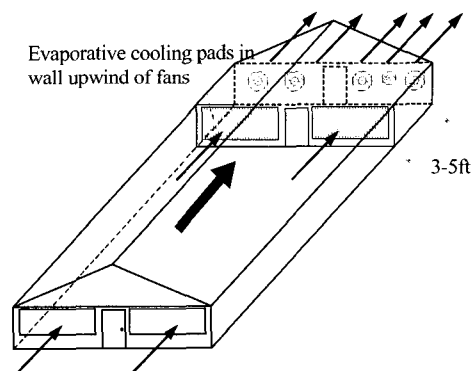


Fig. 14 Reducing technique of ammonia using pad and fan system.

바. 오존

North Carolina 주립대학에서는 오존을 이용한 악취저감 효과를 시험하였다. 터널환기 시스템을 갖춘 비육돈사에 안전농도의 오존을 발생했을 때 높은 환기율에서 대조구와 비교하여 암모니아와 먼지 모두 약 58%가 감소됨을 알 수 있었다. 국내에서도 일부 축산농가에서 축사내부의 악취와 먼지 농도를 줄이기 위해 오존 발생기를 사용하고 있으나 이에 대한

안전사용기준, 사용했을 때의 먼지 및 악취 저감효과 등이 규명되지 않았다. 따라서 이 장치의 사용에 대한 각 오존농도별 먼지 및 악취 저감효과를 규명하고, 가축과 사람에 대한 안전 사용농도를 규명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

사. 바이오필터

Minnesota 대학에서는 바이오필터를 이용한 악취탈취 방법에 대한 연구를 하고 있다. 이곳에서 육성돈사의 펄트 팬으로부터 배출되는 공기를 Pilot scale의 바이오 필터에 통과시켰을 때 약 78%의 악취저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 유화수소(H₂S)와 암모니아(NH₃) 농도는 각각 86%, 50% 저감되었으며, 바이오필터를 설치한 처음 10개월 동안 평균 악취농도가 약 82%의 저감되었으며, 같은 기간동안 암모니아는 53%, 유화수소는 82%가 저감되는 것으로 나타났다. 또 다른 연구에서는 퇴비와 Dark red kidney bean straw를 사용한 시험에서 돈사의 슬러리 펄트로부터 배출되는 악취를 78%, 암모니아를 50% 줄일 수 있

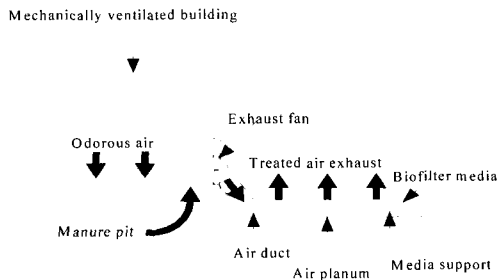


Fig. 15 Odor reducing technique using biofilter.

었다. 바이오필터를 이용한 먼지 및 악취제거는 강제 환기시스템을 갖춘 축사에서 이용했을 때 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

아. Windbreak walls and barriers

축사에서 발생한 먼지는 외기의 기류를 타고 인근 주택가로 확산된다. Windbreak wall과 barrier는 이들 기류의 흐름을 확산시켜 주택가에 도달하는 악취의 농도를 줄이기 위해 사용된다. Windbreak wall과 barrier는 축사에서 공기를 배출하는 팬 쪽에 팬에서 일정한 거리만큼 떨어진 곳에 설치하여 축사에서 배출되는 악취성분이 이 벽에 부딪쳐 위쪽으로 확산되는 원리를 이용한다. Fig. 16은 Windbreak wall과 barrier의 악취확산 원리를 나타낸 것이다. Windbreak wall과 barrier는 축사의 배기 팬으로부터 4~6m 떨어진 곳에 축사의 건물높이와 같은 높이로 설치한다. 이 시스템은 현재 대만에서 널리 이용되고 있다. 국내에는 아직 적용이 되지 않았으나 축사로부터 발생하는 악취로 인한 민원발생이 많은 지역에서는 적용 가능성을 검증하고 이용타당성이 있을 경우 축사 또는 축분처리장 주위에 설치하면 좋은 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

자. 축사의 구조변경에 의한 악취저감

위에 설명한 여러 가지 방법 외에 축사의 구조변경에 의해서도 축사내부의 먼지 및 악취발생을 줄일 수 있다. 우리나라의 축사는 가축사육 공간과 분뇨처리 공간이 별도로 마련되어 있다. 즉 가축에게서 발생한 분뇨가 일정한 량이 모이면 이를 슬러리 형

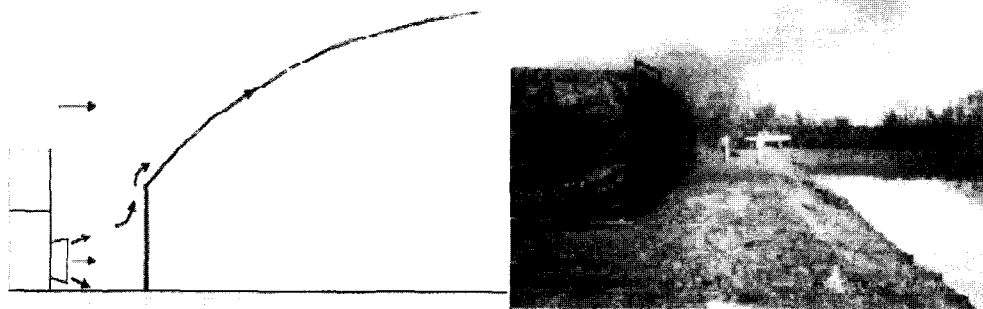


Fig. 16 Odor diffusion using Windbreak wall and barrier.

태나 또는 벨트, 스크레퍼 등을 이용해 축사외부(축분처리장)으로 배출한다. 이러한 축사는 별도로 분뇨를 처리하기 위한 시설을 갖추어야 한다. 그러나 최근 미국 등을 중심으로 관심을 끌고 있는 것은 가축의 사육과 축분 처리를 한 곳에서 하는 일이다. 이러한 시스템을 운영하기 위해서 고안된 것이 고상식 축사이다. 고상식 축사는 2층으로 되어 있어 2층은 가축을 사육하는 공간으로 이용하고 아래층에는 가축이 배설한 축분뇨를 저장하는 공간으로 이용된다. 이러한 시스템을 설계하는데 있어 기본은 팬에 의한 강제환기시스템을 도입하는 것이다. 팬에 의한 강제환기시스템이 도입 될 때 고상식 축사의 효과를 얻을 수 있다. 이러한 시설에는 가축의 분뇨를 저장하는 아래층 양쪽 벽면에 환기를 위한 여러 개의 팬이 설치되어 있다. 신선한 공기는 2층의 지붕, 또는 추너부분에서 유입되어 가축사육 공간 천장에 설치된 슬랏을 통해 내부로 들어온다. 내부로 들어온 공기는 가축사육 공간 바닥의 슬랏을 통해 아래층으로 유도된 다음 팬을 통해 외부로 배출된다. 고상식 축사는

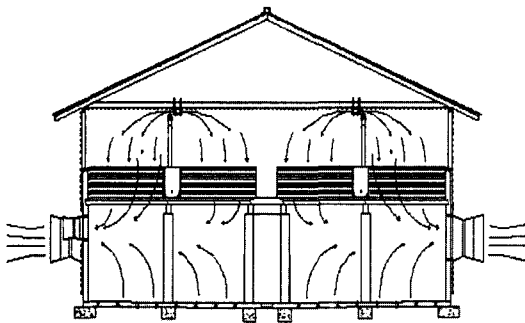


Fig. 17 Air flow pattern of high rise pig house.

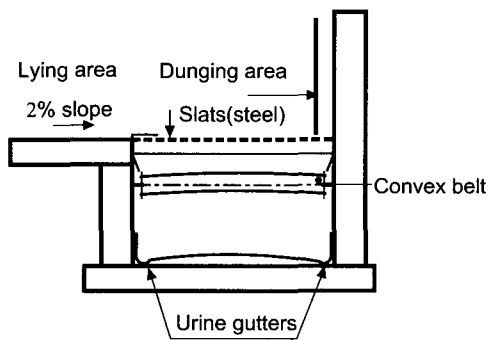


Fig. 18 Filtering system of manure under the slat in swine house.

대부분 부압 형태의 환기가 이루어지기 때문에 축분뇨 저장조에 있는 암모니아, 악취 등이 윗층으로 올라오지 않는다. 그러나 축사의 내부온도를 조절하기 위해 최소환기를 실시하는 겨울철에는 축분뇨 저장조에서 발생한 암모니아, 악취 등이 윗층으로 올라와 내부의 가스농도가 높아지는 경우가 있다.

이 시스템의 이산화탄소 농도는 위층, 아래층, 배출팬에서 각각 1270, 1150, 970ppm으로 나타났으며, 암모니아의 평균농도는 4.3ppm이었다. 관행 비육돈사를 시험한 결과 환기율이 많은 여름철에는 5ppm, 겨울철에는 10~20ppm으로 나타났다. 돼지 사육공간에서의 암모니아 농도는 20ppm 이하를 나타내었다.

Fig. 18은 돈사의 분뇨를 분리하기 위하여 슬랏 아래에 벨트컨베이어를 설치한 시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템을 사용했을 때의 분뇨 분리율은 89%로 나타났으며, 재(Ash), 인(Phosphorus), 질소(Nitrogen), 칼륨(Potassium)의 량은 67%, 98%, 64%, 49% 였다. 일중 분뇨의 수거횟수는 분뇨의 분리율에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 슬랏에서 아래로 떨어진 분은 벨트 위에 쌓이고 노는 분과 분리되어 수집조로 흘러간다. 제분 벨트의 수거회수를 늘리는 것은 벨트의 원활한 작동을 위해 필요한 것으로 나타났으며, 축사내부로부터 축분의 신속한 제거는 축사내부의 가스환경을 개선하는데 효과적인 것으로 판단된다.

Table 4는 돈사내 바닥형태에 따라 내부에서 발생하는 암모니아 발생량의 차이가 큰 것으로 나타난다. 분뇨가 떨어지는 슬랏의 면적을 줄이거나 분뇨의 온도를 낮추면 암모니아 발생량이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

Table 4 Ammonia emission of swine houses

| Fattening pig housing system | NH ₃ emission (kg per animal place per year) |
|--|---|
| Traditional -fully slatted | 3.0 |
| Traditional -50% slatted floor | 2.3-2.7 |
| Traditional -various slatted floor types | 2.2-2.4 |
| Low emission -25% slats | 2.1 |
| Optimal pen design and phase feeding | 1.7-1.8 |
| Reduced pit surface area | 1.6 |
| Shallow pits+flushing gutter system | 2.0 |
| Slurry cooling | 1.9 |

5. 축분처리시의 가스제거 방법

축분처리시의 가스제거는 축사내부에서 배출된 축분의 운영방법에 의해 결정된다. 축분처리장에서 퇴비화한 축분의 농경지 이용시 여러 가지 이용기술의 적용에 의해 축분에서 대기중으로 휘산하는 악취를 상당부분 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

Fig. 19는 축사에서 발생한 축분을 처리하는 광경을 나타낸 것이다. 축사에서 외부로 배출된 축분은 고액분리기를 이용해 고형분과 액상분으로 분리한다. 분리한 성분중 고형분은 발효하여 퇴비화하고 액상분은 저장조에서 6개월이상 부숙시킨 다음 토양에 환원하는 시스템을 이용하고 있다. 국내에서는 가축분뇨를 환원할 경지면적의 협소함으로 인해 분리한 고형분은 퇴비화하여 이용을 하고 있으나 분리한 액상분은 정화처리하여 방류하는 형식을 많이 채용하고 있다. 이러한 방법은 액상분의 정화처리에 많은 비용이 소요되어 효과적인 방법이 아니다. 최근 축사에서 발생한 축분을 분리하지 않고 슬러리 상태로 부숙하여 토양에 이용하는 방법을 채용하고 있으나 이 방법 또한 많은 경지면적의 소모로 인해 이용이 제한되고 있는 실정이다.

Fig. 20은 축분을 고액분리하여 고형분은 퇴비화한 후 토양에 환원하고 액상분은 공기를 송풍하여 호기성 발효를 시킨 후 저장조에 저장했다가 작물을 수확하고 난 후 또는 봄에 작물을 심기전에 토양에 기비로 환원하는 방법을 나타낸 것이다. Fig. 21은 발생한 축분을 혐기소화조에서 발효하여 메탄가스를 이용 에너지를 얻은 후 발생한 축분을 고액분리하여 고형분과 액상분을 작물에 퇴비로 사용하는 시스템을 나타낸 것이다. 이러한 축분 발효가스를 에너지로

사용하는 시스템이 국내에서 일부 실용화되어 운영되고 있으나 운영상의 어려움과 이용비용의 과다 등으로 인해 널리 활성화가 되지 않는다.

Table 5는 축분을 토양에 환원할 때 암모니아의 발생량을 시험한 결과를 나타낸 것이다. 토양에 살포한 질소성분에 대한 비율을 나타낸 것으로 관행의 확산 방법을 이용하여 토양에 살포하면 대부분의 성분이 대기중으로 휘산되는 것으로 나타났다. 이 시험에 의하면 가장 좋은 축분의 농경지 환원 방법은 땅을 파고 땅속에 분뇨를 주입하는 방법인 것으로 나타났다.

슬러리 저장탱크에서는 장기 저장시 축분의 발효로 발생하는 암모니아로 인해 많은 질소성분이 소실된다. 따라서 축분의 질소성분 손실을 막기 위하여 슬러리 저장조에 커버를 씌우는 방법이 있다. 연구에

Table 5 Ammonia emission of the amount of total ammoniacal nitrogen applied

| Slurry application technique | NH ₃ emission in 8% of the amount of total ammoniacal nitrogen applied |
|------------------------------|---|
| Grassland | |
| - Broadcast spreading | 27-100 |
| - Trailing shoe | 9- 50 |
| - Sod injection | 2- 25 |
| Arable land | |
| - Broadcast spreading | 20-100 |
| - Direct incorporation | 1- 49 |
| - Injection | 0- 40 |

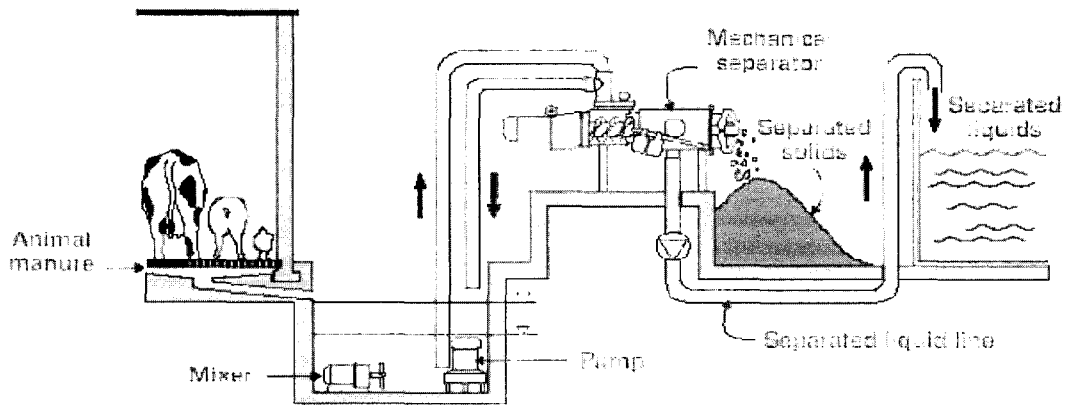


Fig. 19 General concept of manure management.

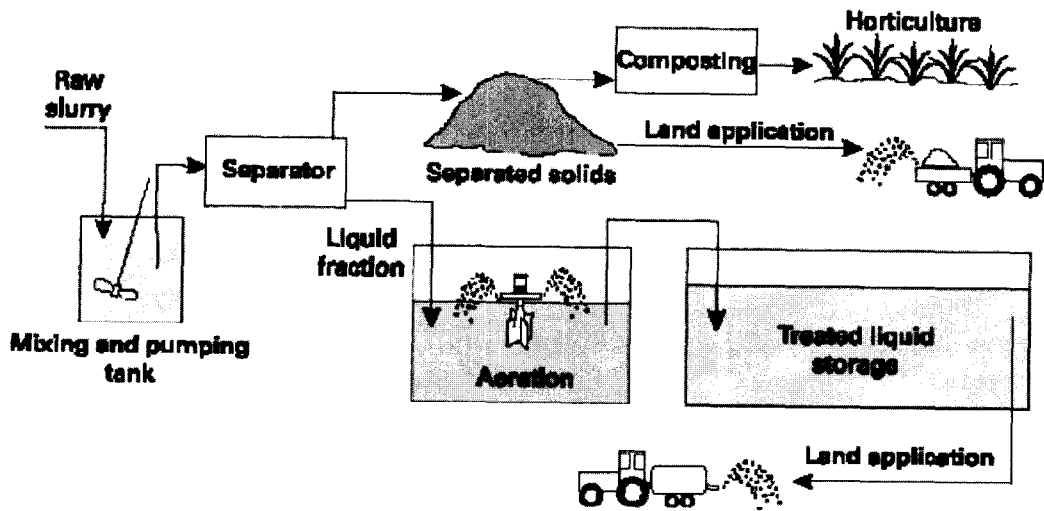


Fig. 20 Manure application to the land.

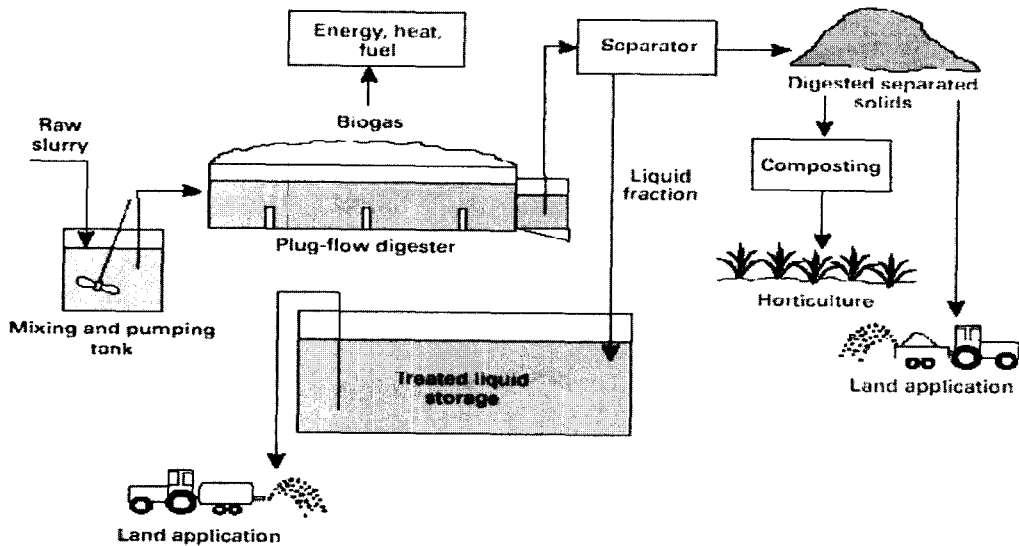


Fig. 21 General concept of bio-gas using from livestock manure.

의하면 슬러리 저장조를 밀폐하여 나무 또는 콘크리트로 커버를 씌울 경우 암모니아 손실을 80% 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

Flexible floating 커버는 다양한 재료로 만들어진다. 일반적으로 이용되는 floating 재료로는 짚, 분쇄한 옥수수 속대, 톱밥, 대패밥, 왕겨, 폴리에틸렌 폼, 플라스틱 매트, Air-filled clay ball 등이 있다. 미네소타 대학의 연구에 의하면 4, 8, 12 inch 두께의 짚을 피복 했을 때 악취를 60, 80, 85% 줄일 수 있음

을 확인하였다.

아무 것도 커버하지 않은 슬러리 저장조에서 발생하는 암모니아 손실을 100%으로 했을 때 Leca를 커버한 경우 돼지 슬러리 저장조에서의 손실을 5~10%, 비육소 슬러리 저장조에서의 손실을 15% 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 아이오와 주립대학에서의 시험에 의하면 돈분에 Leca를 약 4cm 피복 했을 때 돈분에서 발생하는 악취를 90% 이상 줄일 수 있으며, 암모니아는 65~95% 줄일 수 있는 것으로 나타

났다. 또한 미네소타 대학에서의 연구에서는 Macrolite clay ball을 사용했을 때 악취를 56~62%, 황화수소를 84% 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

6. 맺음말

우리나라에서의 축사외부 슬러리 저장조 및 축분 처리장 등에서 발생하는 악취를 줄이기 위한 연구는 일부 대학에서 Scale 규모로 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 환경에 관한 연구는 국민식생활 수준의 향상 등에 따라 쾌적함을 추구하는 경향이 크기 때문에 더욱 활발하게 이루어 질 것으로 생각된다. 앞으로의 축산은 축사에서 배출되는 분뇨처리뿐만 아니라 인근 주민에게 피해를 주는 악취의 발생을 억제하지 않고서는 영위할 수 없을 것이다. 따라서 축사내부의 가스환경 조절과 함께 축사에서 외부로 배출되는 악취를 줄이기 위한 연구는 지속적인 축산물 생산을 위한 필수적인 요인이 되었다. 또한 축산분뇨에서 발생하는 악취의 특성을 분석하여 악취의 발생을 사전에 줄이기 위한 연구도 이미 발생한 악취를 제거하는 것 못지 않게 중요하기 때문에 이에 대한 연구가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. Bottcher, R. W., R. D. Munilla, G. R. Baughman, and K. M. Keener. 2000. Design for windbreak walls for mitigating dust and odor emissions from tunnel ventilated swine building. In Swine Housing, Proc. First Int. Conf.(October 9-11, 2000, Des Moines, Iowa), pp. 142-146.
2. Demmers, T. G. M., L. R. Burgess, J. L. Short, V. R. Phillips, J. A. Clark and, C. M. Wathes. 1999. Ammonia emissions from two mechanically ventilated UK livestock buildings. Atmospheric Environment 33: 217-227.
3. Ellen, H. H., R. W. Bottcher, E. von Wachenfelt and H. Takai. 2000. Dust levels and control methods in poultry houses. Journal of Agricultural Safety and Health 6(4):275-282.
4. Gates, R. S., J. L. Taraba, N. S. Ferguson and L. W. Turner. 1997. A technique for determining ammonia equilibrium and volatilization from broiler litter. 1997 ASAE Annual International Meeting. Paper No. 974074.
5. Ikeguchi, A. and H. Xin. 2001. Field evaluation of a sprinkling system for cooling commercial laying hens in Iowa. Applied Engineering in Agriculture Vol.17 (2):217-221.
6. Iversen, M., S. Kirychuk, H. Drost and L. Jacobson. 2000. Human health effects of dust exposure in animal confinement buildings. Journal of Agricultural Safety and Health 6(4):283-288.
7. Lally, J. J. and W. M. Edwards. 2001. Performance difference swine finishing facilities with natural and tunnel ventilation. Applied Engineering in Agriculture. Vol 17(4):521-526.
8. Lemay, S. P., H. W. Gonyou, J. Feddes, E. M. Barber and R. Coleman. 2000. Two airspace building design to reduce odor and gas emissions from pig farms. In Swine Housing, Proc. First Int. Conf. (October 9-11, 2000, Des Moines, Iowa) pp.219-226, St. Joseph, Mich.:ASAE.
9. Lorimor, J. C. and H. Xin. 1999. Manure production and nutrient concentrations from high-rise layer houses. Applied Engineering in Agriculture Vol.15(4): 337-340.
10. Maghirang, R. G., H. B. Manbeck, W. B. Roush and F. V. Muir. 1991. Air contaminant distribution in a commercial laying house. American Society of Agricultural Engineers. Vol 34(5):2171-2180.
11. Maghirang, R. G. and H. B. Manbeck. 1993. Dust, ammonia, and carbon dioxide emissions from a poultry house. An ASAE/CSAE Meeting Presentation, Spokane Center Spokane, Washington 20-23 June 1993, Paper No 934056.
12. Oehrl, L. L., K. M. Keener, R. W. Bottcher, R. D. Munilla and K. M. Connelly. 2001. Characterization of odor components from swine housing dust using gas chromatography. Applied Engineering in Agriculture. Vol 17(5):659-661.
13. Peter F. M. M., G. P. Roelofs, N. Binnendijk and Verdoesl. 2000. Dust concentration in air from weaner rooms reduced by adaptation of the ventilation system. In Swine Housing, Proc. First Int. Conf.(October 9-11, 2000, Des Moines, Iowa), pp. 167-174, St. Joseph, Mich.:ASAE.
14. Predicala, B. Z., R. G. Maghirang, S. B. Jerez, J. E. Urban and R. D. Goodband. 2001. Dust and bioaerosol concentration in two swine-finishing building in Kansas. Transaction of the ASAE. Vol 44(4):1291-1298.

15. Stowell, R. R., H. Keener, D. Elwell, T. Menke and S. Foster. 2000. High-rise hog facility. In Swine Housing, Proc. First Int. Conf. (October 9-11, 2000, Des Moines, Iowa) pp.273-282, St. Joseph, Mich.:ASAE.
16. Takai, H. and S. Pedersen. 2000. A comparison study of different dust control methods in pig buildings. Applied Engineering in Agriculture. Vol 16(3):269-277.
17. Wang, X., Y. Zhang, L. Y. Zhao and G. L. Riskowski. 2000. Effect of ventilation rate on dust spatial distribution in a mechanically ventilated airspace. Transaction of the ASAE. Vol 43(6):1877-1884.
18. Wheeler, E. F., R. S. Gates, H. Xin, J. S. Zajaczkowski, P. A. Tooper and K. D. Casey. 2002. Field estimation of ventilation capacity using FANS. A 2002 ASAE Annual International Meeting Presentation. Paper No. 02-4125.
19. Wilhelm, L. R. and D. B. McKinney. 2001. Environmental measurements in production swine facilities. Applied Engineering in Agriculture. Vol 17(5):669-675.
20. Xin, H., A. Tanaka, T. Wang, R. S. Gates, E. F. Wheeler, K. D. Casey, A. J. Heber, J. Ni and T. Lim. 2002. A portable system for continuous ammonia measurement in the field. A 2002 ASAE Annual International Meeting Presentation. Paper No. 02-4168.