

# 무창산란계사의 환경분석에 관한 연구

## Environmental Analysis in the Windowless Laying Hen Houses

이성현\*

Hongwei Xin\*\*

Yi Liang\*\*

정희원

S. H. Lee

H. Xin

Y. Liang

### 1. 서 론

양계산업은 우리 몸에 필요한 필수아미노산인 라이신, 메티오닌, 트립토판 및 단백질을 공급하는 계란을 생산하는 주요 농업이다. 그러나 현재의 양계생산시설은 국민의 식생활 수준 향상에 따라 쾌적한 삶을 추구하는 주민의 인식에 의해 암모니아 등 악취를 발생시키는 혐오 시설로 인식되고 있다. 산란계사 내부의 공기조성 중 작업자와 산란계에 가장 큰 위해 요인으로 작용하는 가스성분은 암모니아( $NH_3$ ), 유화수소( $H_2S$ ), 이산화탄소( $CO_2$ ), 메탄( $CH_4$ )으로 알려져 있다. 이 가운데 유화수소와 메탄은 축분의 발효과정에서 발생하는 가스로 축사 내부의 환경관리 측면에서는 제외하여도 무방한 것으로 알려져 있다. 또한 이산화탄소와 수분은 닭의 호흡에 의해 발생하는 부산물로 환기가 잘 이루어지고 있는 계사에서는 가축이나 작업자에 주는 영향이 거의 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 과도한 농도는 가축의 생산성에 큰 위해 요인이 될 수 있다. 몇몇 연구에서 겨울철 기온강하로 인해 축사의 환기가 거의 이루어지지 않는 곳에서 탄산가스 농도가 5000ppm을 초과함을 보고하고 있다. 암모니아는 축분에 있는 질소성분의 분해에 의해 생성된다. 축산물의 생산에 있어 암모니아의 발생은 필연적으로 나타나는 것이나 그 농도가 높아지면 가축이나 작업자에 위해 요인으로 작용한다. 연구에 의하면 암모니아 농도가 20~50ppm에서 눈, 코, 호흡기를 자극하는 것으로 보고하고 있다. 따라서 축사의 내부는 과도한 열과 수분의 제거, 부유먼지의 최소화, 암모니아 등의 유해가스의 제거, 안정적인 호흡을 위한 신선한 공기의 공급 등을 위해 끊임없이 환기를 해야 한다. 축사의 규모가 작고, 축사내 수용가축의 수가 적을 때는 자연환기에 의한 환경조절이 가능하였으나 축사의 규모가 커지고, 축사내 가축의 수용 마리 수가 많아지면서 자연환기만에 의한 내부의 환경관리가 어려워지면서 팬에 의한 강제환기시스템이 도입되게 되었다. Battye 등은 미국내 암모니아 발생의 약 80%가 가축의 분뇨에 의한 것으로 보고하였으며, 유럽환경위원회(European Environment Agency)의 Atmospheric Emission Inventory Guidebook에 의하면 유럽에서 발생하는 암모니아의 80%가 가축농장에서 기원한다고 하였다. 축분으로부터의 암모니아

\* 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* Iowa State University, Agricultural and Biosystems Engineering Department.

발생은 축분의 종류, 축사내부에서의 암모니아 손실, 축분저장기간 동안의 관리방법, 토양으로의 시비방법 등에 의존한다. Steenvoorden 등은 강제환기시설을 갖춘 낙농우사에서 암모니아 발생과 환경온도와의 관계를 분석한 결과 환경온도와 암모니아 발생은 정의 상관관계가 있음을 제시하였다. Aarnink은 암모니아의 발생이 계절에 따라 변화하며 겨울보다 여름철 고온기에 그 발생량이 증가하였음을 보고하였다. 본 연구는 실제 양계농장에서 여름철 고온기와 겨울철 저온기의 무창산란계사의 환경을 분석하고 계사내에서 외부로 배출되는 암모니아 발생량을 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 무창산란계사

시험에 이용된 무창산란계사는 미국 Iowa주에 있는 농장으로 두가지 형태의 환기방식을 취하고 있다. 첫 번째 농장(18×159m, 102,387수)은 터널환기방식을 채용하고 있었다. 계사의 구조는 그림 1과 같다. 신선한 공기는 축사의 추너부분에서 유입되어 용마루 아랫부분에 설치된 슬랏을 통해 계사내부로 공급된 후 내부의 오염공기와 혼합된 다음 계사의 양쪽 끝 부분에 설치된 환기팬을 통해 외부로 배출된다. 계사의 각 끝 부분에는 직경 1.3m 팬이 13개, 직경 1.2m 팬이 2개 설치되어 있다. 계사내부는 3단 8열의 직립식 케이지가 설치되었다. 계분은 각단의 하단부에 설치된 벨트에 수집된 후 하루에 한번 이른 아침에 축사의외부로 배출된다. 두 번째 농장(19.5×178m, 102,608수)은 고상식 계사를 운영하고 있었다. 계사의 구조는 그림 2와 같다. 계사내부는 5단 6열의 A형 케이지가 설치되었다. 계분은 케이지의 하단부로 떨어진 후 하루에 네 번씩 계분스크레퍼를 이용해 하단부의 슬랏을 통해 계분저류장으로 배출된다. 환기는 크로스 환기방식을 채용하고 있었다. 신선한 공기는 축사의 추너부분에서 유입되어 용마루 아랫부분에 설치된 슬랏을 통해 계사내부로 공급된 후 내부의 오염공기와 혼합된 다음 계사의 각 케이지 하단부에 설치된 슬랏을 통해 계분저류장으로 이동된 후 측벽 아랫부분에 설치된 팬을 통해 외부로 배출된다. 팬의 직경은 1.2m로 계사의 양쪽 측벽 아랫부분에 한쪽에는 22개, 반대쪽에는 23개 등 전체 45개가 설치되어 환기에 이용되고 있다. 두 농장 모두 계사에 설치된 환기팬의 작동은 계사 내부에 설치된 온도센서에 의해 조절된다.

### 나. 환경측정 장치

측정한 계사의 환경은 내부의 온도 및 습도, 암모니아 농도, 이산화탄소 농도 등과 외부의 온도 및 습도이다. 내부온도는 계사의 양쪽 끝부분과 가운데를 측정하였으며, 사용한 온도센서는 HOBO Pro TH/Temp(Onset Computer Cooperation, Bourne)이다. 암모니아는 Dräger사의 PAC III Single gas monitor를 사용하였다. 암모니아 센서는 측정시의 오차를 줄이기 위하여 사용전 49ppm 또는 154ppm 표준가스(Matheson Tri-Gas Inc.)를 이용하여 캘리브레이션을 하였다. 측정장치는 암모니아의 지속적인 노출에 의한 측정 오차를 줄이기 위하여 계사 내부의

가스를 모터를 사용하여 암모니아 센서부로 8분간 샘플링하였고, 샘플링이 끝난후 22분동안 신선한 공기유입부의 공기를 센서부로 송풍하였다. 센서에서 측정된 데이터는 30초 간격으로 센서 자체 메모리에 저장할 수 있다. 센서의 데이터 저장능력은 30초간격으로 측정을 했을 때 약 72시간 분량을 저장할 수 있는 메모리를 가지고 있다. 또한 계사의 환기율을 추정하기 위하여 암모니아와 동시에 이산화탄소 농도를 측정하였다. 이산화탄소 측정은 GMT222(Vaisala)를 이용하였다. 이산화탄소의 농도측정 오차를 줄이기 위하여 사용전 표준 가스를 이용하여 캘리브레이션을 하였다. 캘리브레이션에 사용한 이산화탄소는 2000ppm 또는 40000ppm의 표준가스(Matheson Tri-Gas Inc.)와 제로가스로 질소가스를 사용하였다. 이산화탄소의 농도는 4-20mA 전류로 출력되어 데이터로거에 저장토록 하였다. 암모니아 농도와 이산화탄소 농도를 동시에 측정하기 위하여 데이터의 샘플링 시간과 신선한 공기의 유입시간은 동일하게 하였다. 데이터 로거는 30초간격으로 데이터를 저장할 수 있도록 미리 프로그램 하였다. 이산화탄소 농도를 기록하기 위한 데이터 기록계는 HOBO H8(4 Channel external)를 사용 하였다. HOBO H8는 각 채널당 온도, AC전류, 4-20mA, 0-2.5V DC를 저장할 수 있다. 습도 센서의 캘리브레이션은 계사의 환경측정에 사용할 센서를 단열상자에 넣은 후 상자내의 환경 온도와 이슬점 온도를 측정후 습공기선도를 이용하여 센서의 수분함량을 측정하였다.

다. 암모니아 발생량 추정

암모니아 발생량은 계사로부터 외부로 배출된 암모니아의 량을 나타낸다. 암모니아 발생량은 식 1을 사용하였다.

$$E = (C_e - C_i) V \dots\dots\dots(1)$$

여기서, E : 암모니아의 발생량(mg/h-bird), V : 계사의 환기량(m<sup>3</sup>/h-bird), C<sub>e</sub> : 배출팬 부근에서의 암모니아 농도, C<sub>i</sub> : 신선한 공기유입구에서의 암모니아 농도이다.

계사의 환기율 추정은 이산화탄소 균형을 이용하여 계산하였다. 환기율 추정을 위하여 사용한 식은 식 2와 같다.

$$V = \frac{CO_2\text{metabolic} \times 10^6}{CO_{2i} - CO_{2o}} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, V : 계사의 환기량(m<sup>3</sup>/h-bird), CO<sub>2i</sub> : 계사내부의 이산화탄소 농도(ppm), CO<sub>2o</sub> : 신선한 공기유입구에서의 이산화탄소 농도(ppm), CO<sub>2metabolic</sub> : 닭에 의해 생산된 이산화탄소의 량(mL/s-kg)이다. 닭에 의해 생산된 이산화탄소량은 식 3에 의해 계산된다.

$$CO_2\text{metabolic} = \frac{THP}{\frac{16.18}{RQ} + 5.02} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, THP : 닭의 열 발생량(W/kg), RQ : 닭의 호흡지수이다. 위의 식을 이용하여 계사의 암모니아 발생량은 식 4와 같이 계산된다.

$$ER = V \times (C_e - C_i) \times 10^{-6} \frac{\frac{17g}{mol}}{0.0224m^3/mol} \times 1000mg/g \times m \dots \dots \dots (4)$$

여기서, *m* : 닭의 평균 체중이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 계사의 내부온도 및 습도

계사에 최대환기가 이루어지는 여름철 고온기에 계사의 내부온도는 직립식계사 및 고상식 계사의 경우 외기온의 변화에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 직립식 계사의 경우 내부 온도는 주간에는 약 2~3℃ 외기온도 보다 낮았으며 야간에는 닭에서 발산하는 체열로 인해 약 25℃ 부근에서 유지되도록 환기가 이루어지고 있었다. 고상식 계사의 경우는 외기온과의 온도차가 거의 없는 것으로 나타났다. 계사내부 습도의 경우는 여름철 고온기에는 외기습도의 변화에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 그러나 최소환기가 이루어지는 겨울철 저온기에는 계사내부의 닭 자체에서 발산하는 체열 및 호흡에 의해 발생한 수분으로 인해 계사 내부의 온도 및 습도는 외기온의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

#### 나. 이산화탄소 농도 및 환기량

여름철 직립식 계사의 경우 이산화탄소 농도는 약 700~1500ppm, 평균환기율은 3.1±0.8m<sup>3</sup>/h·bird을 나타내었으며 고상식 계사의 경우는 이산화탄소 농도 500±1000ppm, 평균 환기율은 5.66±1.97m<sup>3</sup>/h·bird으로 직립식 계사보다 높은 것으로 나타났다. 겨울철에는 직립식 계사의 경우 이산화탄소 농도가 1500~3000ppm, 환기율은 0.78±0.19m<sup>3</sup>/h·bird으로 여름철 환기율의 25% 수준으로 나타났으며, 고상식 계사의 경우는 이산화탄소 농도 1500~3300ppm, 환기율은 0.82±0.27m<sup>3</sup>/h·bird으로 여름철 환기율의 14% 수준으로 나타났다. 따라서 대규모의 양계를 수용하고 있는 산란계사의 경우 닭에서 발산하는 체열로 인해 여름철 고온기 보다 겨울철 저온기의 환경관리가 더 용이한 것으로 나타났다. 여름철 고온기에는 환기팬만을 사용해 계사의 온도를 조절하는 것은 상당히 어려우며, 계사의 내부온도가 최대로 상승하는 주간에는 계사내부의 상대습도가 낮기 때문에 환기팬 외에 세무냉방 시스템 등을 병용하여 이용하면 계사의 내부온도를 더욱 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

#### 다. 암모니아 농도 및 발생량

직립식 계사의 경우 여름철 고온기의 암모니아 농도는 평균 4.3ppm으로 나타났으며, 고상식 계사의 경우는 6.3ppm으로 고상식 계사의 암모니아 농도가 직립식 계사보다 46% 높은 것으로 나타났다. 암모니아 발생량도 직립식 계사의 경우 0.68g/h·500kg, 고상식 계사의 경우 0.93g/h·500kg으로 고상식 계사에서의 암모니아 발생량이 직립식 계사에서의 암모니아 발생량보다 36% 높은 것으로 나타났다. 최저환기가 이루어지는 겨울철에 직립식 계사의

암모니아 농도는 평균 3.5ppm으로 나타났으며, 고상식 계사의 경우는 16ppm으로 고상식 계사에서 암모니아 농도가 직립식 계사보다 457% 높은 것으로 나타났다. 또한 고상식 계사에서 분뇨저류장에서의 암모니아 농도는 평균 67ppm으로 나타났다. 고상식 계사에서 암모니아 농도가 높은 것은 겨울철 최소환기로 인해 계사 하단부 계분저류장에서 발생한 암모니아가 역류하였기 때문인 것으로 판단된다.

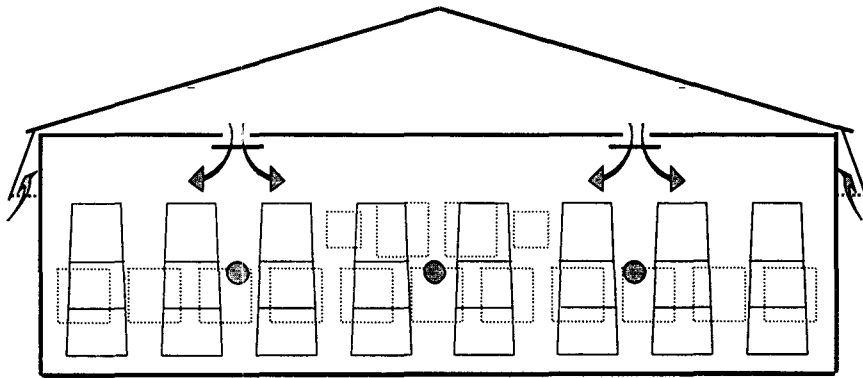
#### 4. 요약 및 결론

여름철 고온기에는 계사의 환기율이 크기 때문에 계사내부의 온도가 외기온의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 그러나 최소환기가 이루어지는 겨울철 저온기에는 닭에서 발생한 체열로 인해 계사내부의 온도는 외기온의 변화와 관계없이 20~25℃ 수준에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 계사내부의 이산화탄소 농도 및 암모니아 농도는 여름철보다 겨울철에 높은 것으로 나타났다. 고상식 계사의 경우는 별도로 계분처리장을 설치하지 않아도 되는 장점이 있지만 겨울철의 경우 환기량이 적기 때문에 계사하단의 분뇨저류장에서 발생된 암모니아 가스가 계사내부로 역류하여 계사내부의 암모니아 농도가 높은 것으로 판단되었다. 위의 결과는 여름철 고온기와 겨울철 저온기의 무창계사의 환경을 측정된 결과를 나타낸 것으로 각 계절의 특성을 대표한다고 볼 수 없다. 따라서 봄, 여름, 가을, 겨울철에 지속적으로 계사의 암모니아 발생량을 측정하는 것이 필요하다. 또한 계사뿐 아니라 돈사, 우사 등 전체 축산시설에서 발생하는 암모니아 발생량을 측정하여 환경가스를 저감 할 수 있는 기술을 개발하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

- 가. Chepte, H.J. 2002. Current state and updating of heat and moisture production rates of poultry. PhD. Dissertation, Iowa State University, Ames, IA 50011.
- 나. Groot Koerkamp, P.W.G. 1994. Review of emissions of ammonia from housing systems for layer hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. Journal of Agricultural Engineering Research 59: 73-87.
- 다. H.Xin, A.Tanaka, T.Wang, R.S.Gates, E.F.Wheeler, K.D.Casey, A.J.Heber, J.Ni, T.Lim. 2002. A Portable System for Continuous Ammonia Measurement in the Field. A 2002 ASAE Annual International Meeting Presentation. Paper No. 02-4168
- 라. J.C.Lorimor, H.Xin. 1999. Manure Production and Nutrient Concentrations from High-Rise Layer Houses. Applied Engineering in Agriculture Vol.15(4): 337-340
- 마. R.S.Gates, 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.

- 바. Xin, H., Y. Liang, A.Tanaka, R.S.Gates and E.F.Wheeler, K.D.Casey, A.J.Heber, J.Ni, and H.Li. 2003. Ammonia emissions from U.S. poultry houses: Part I -Measurement system and techniques. Proc. of the Third International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations, October 11-14, 2003, Raleigh, NC, ASAE, St Joseph, MI.
- 사. Xin, H., Y. Liang, R.S.Gates and E.F.Wheeler. 2002. Measurement of ammonia emissions from laying hen houses. Proc. of Iowa Egg Industrial Symposium, November 2002. Ames, IA 50011, USA.



Fan size : 130cm 13ea, 120cm 2ea

그림 1. 터널환기방식 산란계사의 측면구조

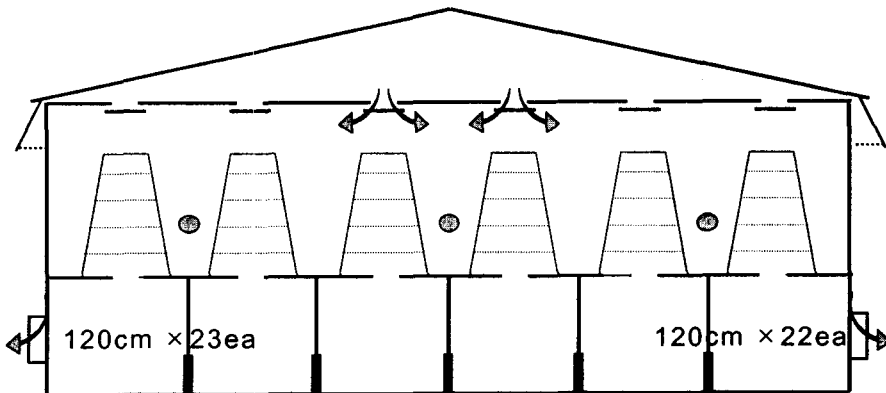


그림 2. 고상식 산란계사의 측면구조