

최 종
연구보고서

우리나라 육계사의 통합사육환경개선시스템
개발

Development of an integrated indoor
environment renovative system for broiler
house in Korea

서울대학교

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “우리나라 육계사의 통합사육환경개선시스템개발”에 관한 연구
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 03월 26일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 최 홍림

연구 원 : 송 준익

연구보조원 : 한 상화

이 기건

북 규동

권 호철

허 용준

정 윤필

요 약 문

I. 제 목

우리나라 육계사의 통합사육환경개선시스템에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1) 목적 : 우리 나라 고유의 축산환경 하에서 우리 나라 특유의 기상조건에 민감하게 반응하여 단일 환경제어 공간개념(single airspace)의 최적환경을 육계에게 제공할 수 있는 『한국형 육계사의 정립』을 그 궁극적인 목표로하며, 기존 중대규모 (사육농가의 20%) 및 소규모 (사육농가의 80%) 육계사의 환경개선을 위한 통합환경개선프로그램 (IERS:Integrated Environment Renovative System)의 개발을 그 구체적인 목표로 한다.

2) 필요성 : 우리나라의 기후는 4계절이 뚜렷하여 환기기술의 부족과 전업규모 계사의 열악한 환경때문에 상대적 규모화에도 불구하고 생산성이 선진지와 비교하여 떨어져지고 있는 실정므로, 육계경영은 그야말로 어렵고 여러 상황에 적용되는 고도의 기술이 필요하나 대부분의 축사시설은 전량 수입되어 조립공급되며, software를 blackbox화하여 제공되고 있으므로 이를 단기간에 국산화(localization)하지 않으면, 기술종속 가능성이 매우 높다. 그러므로 현재 기존 계사 또는 신축계사의 통합적 사육환경개선시스템의 국산화가 점증되고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 주요 연구내용은 다음과 같다.

- 현장조사를 통한 우리 나라 기존 육계사의 환경특성분석 및 구조적 특성분석
- 육계사 사육환경제어논리개발

- 기존 육계사의 통합환경개선시스템 설계 등

다만, 기사 중 육계사를 연구대상으로 하였으며, 산관계사는 연구범위에서 제외하였다. 또한 육계생산환경 중 사육환경을 중점적으로 분석하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구의 결과로 얻어진 통합환경개선시스템 기존 육계사 사육환경개선을 위한 기술적 도구 확보함으로써 우리나라 고유의 기상에 적합한 육계사 사육환경개선시스템 구축으로 향후 육계사의 신축 및 개보수시 최소한의 변형으로 육계사육환경개선으로 생산효율을 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 통합환경개선시스템을 농협중앙회의 컨설팅사업을 통한 현장보급 등을 적극 검토할 수 있을 것이다.

SUMMARY

(영문 요약문)

I. Title of Research

Development of an Integrated Indoor Environment Renovative System for a Broiler House in Korea

II. Purpose and Background of Research

1) Purpose : The ultimate goal of the research was to propose an environment-friendly broiler house which immediately responds to changes of climatic situation in Korea. More specifically, IERS (Integrated Environment Renovative System) module has been developed to improve aerial environment in a typical broiler house in Korea by analyzing characteristics of interior aerial environment and their dimensions.

2) Background : A typical broiler house in Korea manages a natural ventilation system in summer (hot and humid), and does a mechanical ventilation mode in winter (cold and dry). If outside air temperature goes up to the point which broilers can not tolerate in summer, growers have few options to lower indoor air temperature. Because the side-wall curtains are fully opened. The death rate of birds tends to rise due to severe heat stress in summer. Adding water mixed with liquid disinfectant through the misters clung to the ceiling of the house may be only practical mean to lower interior air temperature and surface body temperature of pigs. However it makes more humid inside air of the house, which leads to deteriorate aerial environment and expose to more vulnerable environment to microbial disease due to high humidity.

In winter, broiler producers close all the side-wall curtains and mange a

mechanical ventilation system which air is drawn through inlets on the side-walls and is exhausted through the fans on the endwall or sidewall or rarely chimney fans in the roof. However the insulation degree of a typical broiler house in Korea seems to quite low. Because the winch curtain was made of single or two plastic sheets of which insulation value is lower, and area is rather larger at both sides of the walls. It needs supplemental heat to maintain proper temperature range at the minimum ventilation rate when outside temperature is lower than the temperature which provides minimum ventilation rate at the ventgraph calculation.

Therefore an integrated housing system has to be developed to overcome two extreme weather in Korea and to localize an aerial environment control system with great precision already developed by the countries like Denmark, Netherlands, and Germany.

III. Content and Scope of Research

The followings were the contents of the research;

- Field survey for analysis of characteristics of aerial environment and structural geometries of typical broiler houses in Korea
- Development of an integrated environment control logics for a typical broiler house to improve air quality.

Only broiler houses and aerial environment were focused to deal with for this study.

IV. Utilization of Results of the Research

An integrated environment control logic, developed in this study can be applied to the broiler houses which did not show proper ventilation efficiency through the consulting activity arranged by the Nonghyup consulting groups.

CONTENTS (영 문 목 차)

Summary -----	2
Contents -----	6
Chapter 1. Introduction -----	8
1. Purpose and Background -----	8
Chapter 2 Current Status of the Related Technology Development in Korea and Abroad -----	13
Chapter 3 Results of the Research -----	14
1. Literature review of environmental parameters on broiler production -----	14
2. Theoretical calculation of ventilation rate and its systems -----	38
3. Development of control logic -----	52
4. Regional characteristics of contemporary broiler production in Korea with respect to the structures and aerial environment -----	81
5. Anlysis and results of the on-site expreiments -----	96
6. Application of the control tools at the on-site experiments -----	163
Chapter 4 Degree of Achievement for the Goal and Contribution to its Industry -----	171
Chapter 5 Utilization of the Results of the Research -----	172
Chapter 6 Scientific Information Collected in the implementation of the Research -----	172
Chapter 7 References -----	173

목 차

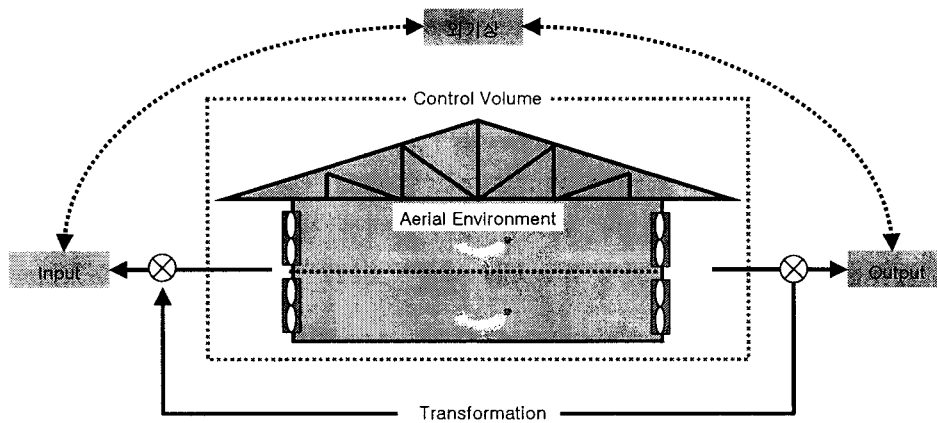
요약문	-----2
SUMMARY	-----4
영문목차	-----6
국문목차	-----7
제 1 장 연구개발과제의 개요	-----8
제 1 절 연구개발의 목표 및 내용	-----8
제 2 장 국내외 기술개발 현황	-----13
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	-----14
제 1 절 환경변인이 양계사육환경에 미치는 영향에 대한 선행연구	-----14
제 2 절 환기율 산정이론개발 및 환기시스템 정립	-----38
제 3 절 제어논리개발	-----52
제 4 절 우리나라 육계사의 사육현황 및 계사의 지리적·형태적 분류	-----81
제 5 절 육계사 현장실험결과	-----96
제 6 절 현장실증실험	-----163
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	-----171
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	-----172
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	-----172
제 7 장 참고문헌	-----173

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표

우리 나라 고유의 축산환경하에서 우리 나라 특유의 기상조건에 민감하게 반응하여 단일 환경제어 공간개념(single airspace)의 최적환경을 육계에게 제공할 수 있는 「한국형 육계사 ([그림-1])의 정립」을 그 궁극적인 목표로 한다. 이를 위한 선행연구로서 본 연구에서는 기존 중대규모 (사육농가의 20%) 및 소규모 (사육농가의 80%) 육계사의 환경개선을 위한 통합환경개선프로그램 (IERS: Integrated Environment Renovative System)의 개발을 연구의 최종목표로 하였다.



[그림 1-1] 통합환경제어논리체계

2. 연구의 필요성

가. 기술적 측면

○ [표 1-1]에서와 같이 우리나라 육계수수는 지속적으로 성장하고 있으며, 호당사육수수가 19천~31천수로써 이미 상당 수준 규모화(large scaled)가 이루어진 것으로 판단된다. 이는 [표 1-2]의 분석과도 궤를 같이 한다.

[표 1-1] 연도별 육계사육현황

구 분	1998	1999	2000	2001.6	2004.12
사육수수, 천수	34,671	36,558	45,000	66,742	50,121,689
양축농가수	1,821	1,895	2,013	3,016	1,607
호당두수	19,040	19,292	22,355	22,130	31,336

자료) 가축통계. 농림부. 2005.

농가규모별로 50.2%의 중·대규모농가 (중규모 29.5%, 대규모 20.7%)가 전체 사육수수의 80.1% (중규모 35.7%, 대규모 44.4%)를 점하여 농가수로나 사육수로나 이미 전업화되어 있으며, 총사육수수의 1.7%를 사육하는 만수 이하의 사육농가는 0.07%로 향후 시장변화에 따라 급격히 감소되며, 육계산업의 대형화가 가속될 것으로 전망된다.

[표 1-2] 규모별 육계사육현황

구 분	10천수 미만	10~30천수	30~50천수	50천수 이상
사육수수, 천수	844	9,103	17,907	22,266
점유율, %	(1.7)	(18.2)	(35.7)	(44.4)
농가수	359	441	474	333
점유율, %	(22.3)	(27.4)	(29.5)	(20.7)
독점율	0.07	0.66	1.21	2.14

註) 10천수 이하 : 소규모, 10~30천수 : 중규모, 30천수 이상 : 대규모
 자료) 가축통계. 농림부. 2005.

○ 우리나라의 기후는 4계절이 뚜렷하여 환기기술의 부족과 전업규모 계사의 열악한 환경때문에 상대적 규모화에도 불구하고 생산성이 선진지와 비교하여 떨어지고 있는 실정으로 ([표 1-3]), 육계경영은 그야말로 어렵고 여러 상황에 적용되는 고도의 기술이 필요하다. 특히 추운 계절에 환기가 과다해 질 경우에는 계사의 온도를 초래하고, 온도에 신경을 쓰다보면 환기가 되지 않아 호흡기 손상으로 인한 만병의 근원이 된다. 겨울철에는 저온·저습의 외기조건이 반복되기 때문에 적온유지를 위해 많은 연료가 소요되고, 체온유지를 위해 단위중체당 사료소비량이 많아지며, 환기불량에 의한 호흡기계통의 질환등으로 육계사육 농가에서는 사양관리 및 경제적인 면에서 많은 어려움을 겪고 있다. 특히 계사환경의 조절이 어려운 간이계사나 개방계사에서 육계를 사육할 경우에는 최적 환경조성이 어려워 양계농가들이 느끼지 못하는 경제적 손실이 상당히 크다.

[표 1-3] 양계산물 생산비 비교

구분	한국	일본	미국	중국	태국
병아리대	233	211	64	100	140
생산비					
사료비	579	782	279	480	457
(원/생체kg)					
기타	234	260	114	52	68
계	1,046	1,253	457	632	665
지수	100	120	44	60	64
출하체중(kg)	1.7	2.7	2.1	2.5	2.2

註) 생산지수 = (육성율×평균체중)+(사료요구율×출하일수)× 100

기타 : 환기시설비 및 질병예방비가 포함

자료) 농림부, 1997

○ 우리 나라 축산의 대외 경쟁력제고를 위해서는 간이축사보다는 환경제어형 축사에 대한 관심이 높아짐에 따라 축산시설 및 환경제어부문의 판매도 급신장되었다 (한국축산시설환경기계협회, 2000). 그러나 대부분의 축사시설은 전량 수입되어 조립공급되며, software를 blackbox화하여 제공되고 있으므로 이를 단기간에 국산화(localization)하지 않으면, 기술종속 가능성이 매우 높다.

○ 현재 우리 나라에서 수입되고 있는 양계 total system은 주로 유럽의 6~7개사가 있다. SKOV(덴마크)는 환기시스템만 전문적으로 시공하는 업체로 이 분야에서 독자적 기술력을 보유하고 있다고 주장하고 있으나, 이는 우리 나라에서 원형규모의 기사에서 검증되어야 한다. CANARM시스템의 경우, 대표적인 북미식 조방계사로 우리 나라 축산환경에는 맞지 않으며, 유럽식은 방서, 방한대책이 약하다. 이는 [표 1-4]에서와 같이 연간 기온차(1% 수준에서)는 한국은 47℃로서, 화란 33℃, 덴마크 35℃보다 12~14℃ 크다.

[표 1-4] 우리 나라와 화란, 덴마크의 계절별 설계온도비교

계절별	여름철				겨울철		
	1%	2.5%	5%	평균일교차	99%	97.5%	극한평균
한국	33℃	32℃	31℃	9℃	-14℃	-13℃	-18℃
네델란드	26℃	24℃	23℃	6℃	-7℃	-5℃	-8℃
덴마크	26℃	24℃	23℃	9℃	-9℃	-7℃	-12℃

자료) ASHRAE Fundamentals, 1993.

따라서 기사에 대한 구조적 형태뿐만 아니라 구성재의 선택 및 단열수준 등 매우

정교한 설계가 이루어져야 하므로 우리나라 고유의 기상조건(unique climate in Korea)에 적합한 환경개선시스템의 구축이 매우 시급한 실정이다.

○ 현재 농림부와 농협중앙회에서는 『'89 축사표준설계도』, 『'93 가변형축사표준설계도』, 『'97 가변형 축사표준 설계도』, 『'98 가변형 축사표준 설계도』 등을 제작, 배포하였다. 그러나 건축자재의 제원, 축사의 기하학적 형태 등을 한정시킴으로써 상기 표준설계도가 가지고 있는 경직성을 완전히 해소하지 못했다. 보다 심각한 문제는 이들 축사가 환경적으로 검증되지 않은 채 배포되고 있으므로 '해당축에 적정사육환경을 제공하지 못한다'는 문제점이 현장 축산농가들을 중심으로 제기되고 있어 이들 표준설계도의 환경적 보완(environmentally-validated)이 시급한 실정이다.

○ 현재 기존 계사 또는 신축계사의 사육환경제어를 위하여 설치된 환기시스템, 냉난방시스템, 계분 수거·이송시스템, 약취·소음저감시설 등의 구성시스템들이 단일 생산공간의 완전한 통합제어체계를 구축하지 못함으로써 계사의 청정도가 저하되어 있으므로 제어의 통합화(integration of control units)는 실질적인 계사의 환경효율제고에 크게 기여할 수 있다.

나. 경제·산업적 측면

○ 최근 육계산업이 급성장함에 따라 열악한 사육환경 때문에 호흡기 질병 등 각종 질병에 의한 생산효율은 약 25% 이상 감소되어 연간 약 2,000여억원의 손실이 발생하며, 간접 피해액을 합하면 총 생산액의 40% 손실(한경희, 1995)이 있을 것으로 추정하였다. 그러므로 이러한 경제적 손실을 최소화(minimizing loss)할 수 있는 기존 계사의 환경개선 시스템의 통합환경시스템에 의한 계사의 청정환경기반조성이 무엇보다도 시급하다.

○ 현재 기존 계사 또는 신축계사의 사육공간에 환기시스템, 냉난방시스템, 계분 수거·이송시스템, 약취·소음저감시설 등의 부문별 계사 구성시스템들이 분석되어 단일 생산공간개념의 통합환경제어를 구축하지 못하고 각각 독립적으로 구매, 시공이 빈번하게 일어남으로써 계사내 환경의 청정도 뿐만 아니라 경제적으로도 부문별 과다, 중복 투자될 수 있어 경영효율 제고를 위하여 통합환경시스템화(integration of control units)하는 것이 필요하다.

다. 사회·문화적 측면

○ 최근 계사의 악취취산에 대한 주변마을의 민원이 빈발하고 있으므로 계사내 환경제어 뿐만 아니라 상대적으로 오염된 배출공기의 악취강도를 저하시킬 수 있는 탈취시스템을 적극적으로 검토할 필요가 있다.

○ 우리 나라의 양계에 대한 국민들의 인식은 항생물질 잔류, 악취, 적절한 계분관리, 파리, 모기 등으로 매우 부정적으로 각인되어 있다. 그러므로 계사의 청정화로 민원소지를 감소시켜 대국민 양계에 대한 이미지를 개선시킬 필요가 있다.

2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 주요 연구내용은 다음과 같다.

- 현장조사를 통한 우리 나라 기존 육계사의 환경특성분석 및 구조적 특성분석
- 육계사 사육환경제어논리개발
- 기존 육계사의 통합환경개선시스템 설계 등

다만, 계사 중 육계사를 연구대상으로 하였으며, 산란계사는 연구범위에서 제외하였다. 또한 육계생산환경 중 사육환경을 중점적으로 분석하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내기술개발현황

○ 지난 수년간 많은 축산기자재업체가 축종별 호황과 불황에 따라 이합집산을 거듭하고 있으며, 국내 관련업체 거의 전부가 매우 영세하므로, 신기술을 개발하거나, R&D에 투자한다는 것은 거의 불가능하였다. 그러므로 일부 농가에서는 MULTI-FAN(네덜란드), SKOV(덴마크), 광휘(대만) 등의 시스템을 turnkey로 전량 수입하여 현장에 적용하였으나 우리나라 기상조건에 최적화시키지 못함으로써 환경효율이 기대에 미치지 못한다는 민원이 빈발하고 있다.

○ 현재 우리 나라에서 자체 개발한 육계사에 단일 공간개념을 적용한 통합환경개선software는 전무하다. 산란계에 관련하여 권오신(1998) 등이 산란계사의 환기제어시스템에 대한 연구를 수행하였으나 축산분야가 완전배제된 전자적 측면의 interface 국산화에 한정되어 계사환경의 종합적 분석, 평가가 가능한 IERP와는 거리가 있어 보인다. 권관 등(1996)은 '채란양계시설의 무인자동화시스템 개발'에 관한 연구에서 권오신과는 달리 계란중량선별 기작, 이송conveyor, 케이지의 크기, 축분벨트 등에 관한 축산 기계적 요소를 포함시켰으나, 언급한 통합환경연구는 심화시키지 못하였다.

제 2 절 국외기술개발현황

○ 북미식이든 유럽식이든 아직도 고감응 기상반응형 환경제어software가 개발되지 못하고 있다. 실제 유럽, 북미의 경우 housing livestock production개념은 100여년에 이르므로 오랜 경험을 바탕으로 특정 기하학적 형태의 축사 제어변수를 양화(quantification)시켜 software화 한 것으로 판단되므로 정성적(qualitative)개념의 software 개발에 의한 hardware 구축은 축산선진지에서도 향후 수행되어야 할 연구 과제라 생각된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 환경변인이 양계사육환경에 미치는 영향에 대한 선행연구

본 제안연구에서 궁극적으로 개발하고자하는 계사의 환경개선을 위한 통합환경개선 시스템(IERS)을 구현하기 위해서는 기본적으로 '환경변인들이 닭의 생리에 미치는 영향' 및 '변인간 상호관계'에 대한 이해가 선행되어야 하므로 본 절에서 다음 변인에 관련된 선행연구를 review하고자 한다.

계사환경	□ 물리적 환경(physical environment)
	① 열환경(thermal environment) 온도, 습도, 온도/습도
	② 공기환경(aerial environment) 환기량, 공기유동형태(flow patterns) 및 속도분포
	③ 광환경 (light environment) 자연광 또는 전등의 광의 특성, 조사시간 및 강도
	④ 진동, 소음환경 (vibrate & noise environment) 진동과 소음의 강도 및 기간
□ 화학·미생물적 환경 (chemical·biological environment)	
① 기체환경(gas environment) CH ₄ , CO ₂ , 메탄, 황화수소 등 유해기체	
② 부유물질 환경(particulate matter environment) 먼지(dust) 및 미생물(pathogens)	

1. 물리환경(physical environment)

가. 열환경(thermal environment)

1) 온도(temperature)

일반적으로 가금은 현열손실이 일정한 적온대에서 사료효율이 가장 높다. 육계사

의 중온대 (neutral temp. region)는 7~24℃로써 이 온도대에서는 1℃에 1%의 사료를 절약할 수 있으며, 산란계도 5~24℃의 범주에서는 생산효율 90%를 유지한다 (Esmay, 1986). 환경온도가 하한임계온도(LCT: lower critical temp.)보다 낮을 때는 체온유지를 위하여 사료에너지(feed energy)를 이용하므로 사료효율이 저하되며, 고온 환경에서도 에너지섭취가 감소되므로 생산성이 감소된다. 또한 이 한계를 벗어나면 계중에 관계없이 생산성 감소율이 매우 커지므로 계사내 적정 열환경을 유지하기 위한 환경제어가 필요하다.

MWPS(1983)에는 14.5~25.5℃, 19~27℃의 범위가 체내에서 열생산이 최소가 되는 환경온도라고 보고하였으며 하한임계온도 이하로 내려가면 닭은 체온유지를 위하여 더 많은 체열을 생산해야 하며, 상한임계온도인 27℃ 이상에서는 입을 벌리고 헐떡거리거나, 날개를 늘어뜨리는 등의 행동으로 체열을 탈산하며, 고온환경에서는 이러한 행동으로 더 많은 에너지를 소모하게 된다고 하였다.

품종에 따라서 다소 차이가 있지만 Harris et al.(1975)은 초기환경온도를 27℃에서 31~35℃로 증가시키고 주간등간격으로 온도를 낮추어 4주후 24℃로 유지하였을 때 3주령의 육용브로일러의 사료효율이 제고되었으나 8주 후 체중에는 영향을 미치지 못하였다고 하였으나, Charles et al.(1996) & Wathers et al. (in Clark, 1981)은 7주령까지는 19~26℃ 온도범위에서 체중과 사료소비량은 온도의 증가에 따라 선형적으로 감소하였다고 보고하여 종래의 적온범위 20~25℃을 보다 정밀하게 표현하였다. 사료효율 및 증체율, 난방비 등을 고려한 최적경제온도는 21℃로 이해되고 있으나 Wathers et al. (in Clark, 1981)은 방대한 실험에서 암컷 육계의 체중(W)과 사료섭취율(F)을 온도와 일령의 함수로 표현하면 각각 식(3.1)과 (3.2)와 같이 주변온도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

$$W = 0.041T - 1.373 - 0.0016(T - 21.75)^2 + 0.074a - 0.013Ta \quad (3.1)$$

$$F = 0.111T - 6.739 + 0.211a + 0.0014(a - 49)^2 - 0.0034Ta \quad (3.2)$$

여기서, T : 건구온도, ℃

a : 일령

고온/다습한 환경에서 열스트레스는 가중되어 온몸으로부터 열을 발산해야 하므로 호흡이 빨라지며, 체온이 생리적으로 견디기 어려워 폐사에 이르므로 여름철 고온환경에서는 적정범주에 들 수 있도록 환기/난방시스템 등을 통하여 공기를 조화시켜야 한다.

닭은 항온동물로 환경온도가 어느 정도 변동되더라도 스스로 체온을 조절하지만 겨

울철에 계사 보온시설의 미비로 계사 내 온도가 지나치게 저하될 경우에는 체온조절 기능에 이상을 초래하며, 체온유지와 생산활동을 위하여 과도한 사료를 섭취하게 되고, 생산능력이 떨어지는 원인이 되기도 한다. [표 3-1]에서 제시한 바와 같이 계종(鷄種)에 관계없이 약 21℃의 주위온도가 경제성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 온도는 육계의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 환경 변수로서 사료의 섭취에 큰 영향을 미치고, 폐사율, 스트레스, 면역력 등에 큰 영향을 미치는 변수로 작용한다.

[표 3-1] Some effects of temperature on poultry calculated by models of the published data

Temperature (°C)	Egg output (g day ⁻¹ per bird)	Eggs/hen housed, 52 weeks	Egg weight (g egg ⁻¹)	Feed intake (g day ⁻¹ per bird)	Cost* penalty of wrong temperature (p per bird year ⁻¹)
<i>Layers-brown breeds</i>					
15	52.2	284	65.5	131	61
18	53.2	290	65.5	128	22
21	53.4	293	65.0	124	0
24	51.5	289	63.5	116	5
27	45.4	267	60.7	102	64
(on a fixed diet, not reformulated for temperature)					
<i>Laying hens-white breeds</i>					
15	48.0	269	63.5	116	
18	50.8	285	63.5	112	¹
21	51.7	293	63.0	108	N/A
24	49.9	288	61.7	102	
27	44.0	265	59.3	95	
(diet not reformulated at high temperature)					
Temperature (°C)	Liveweight(kg per bird)		Feed intake(kg per bird)		Cost penalty (p per bird)
	Males	Females	Males	Females	
<i>Broiler, to 49 days of age</i>					
10	2.93	2.43	6.15	5.40	10.5
15	2.99	2.48	5.95	5.20	3.6
20	2.96	2.45	5.65	4.92	0.3
25	2.83	2.32	5.26	4.52	0.6
30	2.60	2.09	4.78	4.03	4.6

source : Data calculated from the model of Charles(1984)

* At sample UK prices at the time of writing.

¹ White eggs were rare on the UK market at the time of writing.

동절(冬節) 온도관리는 닭에서 발생한 체열을 오랫동안 계사 내에 머물러 있게 하고, 계사 내부공기의 신선도를 유지시키면서 체열의 외부 배출을 최대한 억제하는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 계사건물의 틈새를 잘 밀폐하여 불필요한 열손실을 막아야 한다.

[표 3-2] 육계의 적정 육추 온도

구분	열풍 가온시	보온등가온시	구분	열풍 가온시	보온등가온시
1~2일령	34℃	32℃ 이상	4주	24~25℃	26℃
3~4일령	32℃	32℃	5주	22~23℃	24℃
5~7일령	30~32℃	28~32℃	6주	21~22℃	22℃
2주	28~29℃	30℃	7주	18~21℃	18~21℃
3주	26~27℃	28℃			

*농림부·농진청, 한국사양표준, 2002

육계의 일반적인 육추적온인 초기 1주일 동안은 32~35℃([표 3-2]참조)로 알려져 있다. 그 이후부터는 1주일에 약 3℃씩 온도를 내려 약 21℃가 되었을 때 (겨울철에는 약 5~6주간 가온) 가온(加溫)을 중단하는 것이 바람직한데, ‘한국 사양표준’ 가금편(2002) 육계의 육추적온은 18℃ 정도인데 18℃ 이하에서는 사료섭취량이 증가하였으나, 체중감소는 크지 않았으며, 25℃ 이상에서는 사료섭취량이 감소하며, 체중감소도 크게 나타나 조류는 고온대에서 오히려 생산효율 더 떨어짐을 알 수 있다.

또한 닭의 체열(體熱) 외에 육계사 내부의 열획득원은 깔개와 계분의 혼합에 의한 생분해열 현열이며, 육계사 외부의 열원은 태양의 복사열이다. 육계에서 발생하는 현열의 측정시 육계의 대사열을 직접 측정하는 경우는 거의 없으며, 대개 공기의 온습도를 측정하여 거기에서 잠열을 제외한 값을 이용하여 측정한다. 그리하여 발생현열의 경우 왕겨와 계분의 혼합에서 비롯된 분해열과 함께 계산되게 된다. 현열의 발생량은 Strom(1978)과 CIGR(1984)에 따르면 식(3.3)과 같다:

$$Q_s = Q_t^* \{ (0.8 - 1.85 \times 10^{-7} (t+10)^4) \} \quad (3.3)$$

여기서, Q_s : 체열, W
 t : 주위온도, ℃

이 중 총발생열 Q_t^* 는 가금, 소, 돼지에 공통으로 해당되는 식 (3.4)가 적용된다.

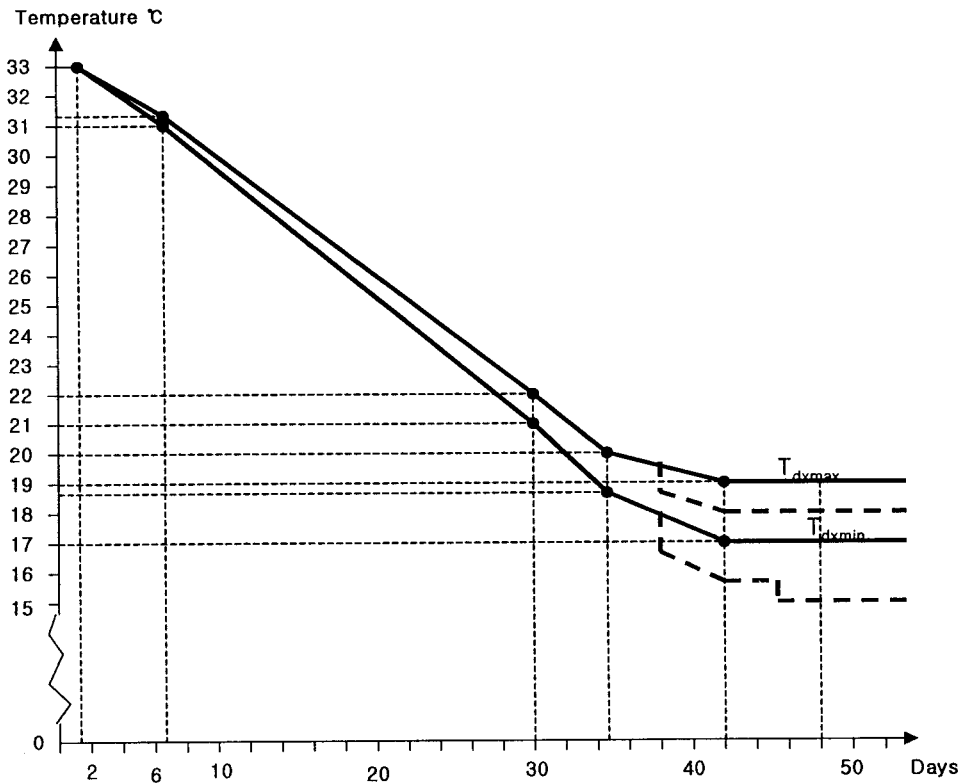
$$Q_t^* = 10 m^{0.5} \{ 4 \times 10^{-5} (20-t)^3 + 1 \} \quad (3.4)$$

여기서, Q_t : 총열, W
 m : 체중, kg

위의 방정식을 대입하여 적절하게 정리하여 간략화할 경우 식(3.5)를 유도할 수 있다.

$$Q_s = 9 \times 21 \text{ m}^{0.79} - 4 \times 91 \text{ m}^{0.68} \quad (3.5)$$

체열의 발생은 육계사의 온도에 대한 환기율의 계산을 위해 필수적인 요소로 정확하게 정량해야 하며 현열의 제거는 계사내 온도의 제어를 위해 필수적인 요소가 된다. 이러한 요소들을 고려하여 적정온도로 설정한 결과는 [그림 3-1]과 같다. i



[그림 3-1] 육추의 일령에 따른 적정 건구온도

2) 습도(humidity)

습도는 가축의 잠열손실에 직접적인 영향을 미치며, 특히 현열손실이 한정되는 고온환경에서 주로 언급된다. 습도는 먼지농도를 통한 공기의 질(air quality)과 병원성균의 증식에 간접적인 영향을 미칠 수 있으나 관련자료는 매우 한정적이다.

일반적으로 습도는 단일 환경변인으로서의 영향보다는 고온과 중첩되면 생산성 감소는 증폭되어 나타난다. Winn et al.(1967)은 5~10주령의 수컷 육계를 21℃의 환경온도에서 상대습도 48~90%범위에 노출시켰을 때 습도변화에 따른 생산성감소는 없었다고 하였다. 또한 환경온도 27℃에서 상대습도를 40%에서 93%로 증가시키면 최종 10주 동안에 사료효율의 변화없이 체중이 약 2% 증가하나, 35℃의 환경온도에서 상대습도가 30%에서 90%로 증가하면 체중이 약 15% 감소하며, 15%의 열손실이 일어나고 단위체중 증가당 사료요구율이 13% 증가한다고 보고하여 고온시 상대습도의 중첩성을 확인하였다. 또한 육계의 육추단계에서는 환경온도 32.2℃에서 매주 2.7℃씩 낮추어 18.3℃에 이를 때까지 상대적으로 습도가 높은 것이 증체와 사료효율에 도움이 된다고 하였다.

사육현장에서 경험적으로 얻을 수 있는 사실은 육추 초기에 실내가 건조할 경우 육계는 탈수증이 생기고, 우모발생이 불량해진다. 또한 깃털이 꺼칠하고 식욕 감퇴·성장부진·항문폐쇄증·폐사증세를 보이게 된다. 특히 겨울철에는 습도가 부족해지기 쉬운데 특별한 관리를 요한다. 반대로 과습하게 될 경우 fungi의 발생이 늘어나고 각종 질병에 감염되기 쉬우며, 가슴부위의 물집과 발육지연이 일어나기 쉽다.

습도가 생산성에 미치는 영향은 보고가 미미하나, [표 3-3]과 같이 Soren Pedersen(2000)에 의하면 모든 실험에서, 주의 온도는 초반 3일 동안은 33℃였으며 이후 점차적으로 일당 0.5℃정도로 줄어 22℃까지 도달하였다. 이후 온도는 일정하게 유지되었다. 실험 1과 2에서, 상대습도는 week1에서는 45%, week2에서는 50%, week3에서는 55%, week4에서는 60%로 설정했으며 그 뒤로는 65%로 설정했다. 실험 1과 2에서의 상대적으로 높은 보열(補熱)에 기인하면, 실험 3에서의 등적(等積)상대습도수준은 보열의 필요를 줄이기 위하여 실험 1과 2보다 5%정도 높은 것으로 나타났다고 보고하였다.

일반적으로 계사 내 습도는 [표 3-4]에서 제시한 대로 성장단계에 관계없이 40~75%의 습도대로 일령이 높을 수록 적습대는 점차 낮아진다. 이는 체중이 무거울수록 호흡으로 인한 가슴(加濕)이 커지므로 체중과 적습대는 쉽게 이해할 수 있다.

[표 3-3] Production parameters for the experiments

Period, day	Parameter	Experiment 1*		Experiment 2		Experiment 3	
		House3	House4	House3	House4	House3	House4
0-28	Mortality %	2.9	3.0	2.0	2.2	1.2	1.6
	Weight at 28 days, g	1,316	1,315	1,248	1,243	1,163	1,161
	Feed/broiler, g	1,814	1,827	1,678	1,667	1,655	1,643
	kg feed/kg broiler	1.38	1.39	1.34	1.36	1.43	1.43
29-38	Mortality %			0.7	1.4	0.3	0.4
	Weight at 28 days, g			664	643	602	611
	Feed/broiler, g			1,429	1,383	1,239	1,241
	kg feed/kg broiler			2.15	2.15	2.06	2.03
0-38	Mortality %			2.7	3.6	1.5	2.0
	Weight at 28 days, g			1,912	1,886	1,765	1,772
	Feed/broiler, g			3,107	3,70	2,906	2,896
	kg feed/kg broiler			1.63	1.63	1.65	1.63

* The omitted results are due to unforeseen events, which make the results obtained after 35 days unrealistic. Therefore, no data for days 29-38 and for days 0-38 are available.
출처 : Soren Pedersen, 2000

[표 3-4] 육성계의 적습범위(상대습도 %)

구분	초생추	15일령	35일령
상한	75	75	75
적습	70	60	55
하한	40	40	40

출처 : 월간양계 2002. 12

또한, 계사 내의 수증기 형태의 수분은 먼지, 악취원인물질, 병원균(pathogen)등의 부유물과 흡착되어 공기와 함께 움직이므로 공기의 질을 악화시켜 가축의 생산성에 간접적인 영향을 미친다. 그러나 습도와 입상물질(particulate matters)농도 또는 병원체간의 관계를 규명한 연구는 거의 찾아볼 수 없었다.

나. 공기환경(aerial environment)

공기속도의 증가는 가축의 잠열손실을 증가시키며 이는 피부와 환경간의 증기압차(vapor pressure difference)에 비례한다. 유속의 증가는 고온환경에서 가축의 현열손실을 증가시키며, 축사벽면으로부터 수분증발을 가속시키기 때문에 하절에는 냉각효

과(cooling effect)를 유도할 수 있으나, 저온환경에서는 draft로 인하여 생산에 악영향을 미칠 수 있다. 그렇다고 해서 항상 상대적 고속(higher air speed)이 바람직하지는 않다. 주변환경온도가 동물표면온도보다 높을 때 유속을 증가시키면 가축에 대한 열생산이 열손실보다 커져 오히려 열부하만 가중시키기 때문이다.

Drury 등(1966)은 일간 21~36°C 순환온도환경에서 사육되는 3~8주령의 육계를 공기속도 0.1m/sec에서 2.7m/sec에 노출시키면, 상대적 고속이 저속보다 주당 50~100g 더 증체되었으며 증체(gain weight)는 공기속도의 평방근에 비례함을 관찰하였다. 그러나 사료효율에는 큰 변화가 없었다고 보고하였다.

Siegel & Drury(1968)는 후속연구에서 40°C로 일정한 환경온도에서 공기속도 2.5m/sec에 노출된 육계는 일정한 체온을 유지할 수 있었으나, 동일 환경온도에서 공기속도 0.01~0.2m/sec에 노출된 육계보다 열생산이 열손실보다 더 많아, 환경온도가 40°C 이상의 고온환경에서는 상대적 고속이 육계의 열부하를 가중시킴을 유의할 필요가 있다고 하였다.

Wilson 등(1957)은 평균환경온도가 12°C, 19°C, 23°C인 자연상태에서 뉴햄프셔 fryer를 상대적 저속(공기속도가 0.2m/sec)에서 고속(1.0m/sec~2.0 m/sec)의 환경으로 노출시키면 증체율은 약 5% 정도 저하되었으나, 사료효율은 변화가 없었다고 하였다. 이 연구는 2주~10주령의 육계의 경우, 0.2~1.0m/s 유속범위에서는 증체율의 변화가 나타나지 않기 때문에 기류는 2주령 이상의 병아리(brooder)에게 많은 영향을 미치지 않는다고 하였으나 이보다 어린 병아리에 대한 기류의 영향에 관해서는 언급되지 않았다.

이미 기술한 공기속도-닭생산성과의 상관관계를 정리하면 [표 3-5]와 같다. 공기속도에 따라 증체량, 성장율, 사료섭취량이 달라지는 것을 알 수 있으며 환경온도와 습도에 따라 계사내에 일정한 공기속도를 유지하는 것은 닭의 생산성 제고(提高)에 도움을 주는 것으로 판단된다.

가축의 표면온도보다 낮은 온도에서 유속을 증가시킬 경우 여름철에는 가축의 체열손실을 증가시켜 긍정적인 영향을 미치지만, 겨울철에는 가축의 냉해를 유발시킬 수 있다. 여름철 유속의 증가는 체열손실의 가속화로 위험기준 온도를 높힐 수 있으나, 공기온도가 체표면온도보다 클 경우 유속의 증가는 가축에 열부하를 더하는 결과를 유발한다. 또한 공기속도의 증가는 잠열의 손실을 증가시켜 축사 내 증발냉각의 효과를 얻을 수 있으나 겨울철에는 냉기류의 원인이 될 수 있다.

[표 3-5] 공기속도와 육계의 생산성의 관계

구 분	온 도(℃)	풍 속(m/s)	효 과
육 계(3~8주)	21~36℃	0.1m/s→2.7m/s	50~100g/주 증체
육 계	40℃	@2.5m/s ≥ @0.01~0.2m/s	열발생 ≥ 열손실 ⇨ 열부하가중
	40℃	@2.5m/s	일정한 체온유지 가능
NewHampshire fryers(2~8주)	12, 19, 23℃	0.2m/s→1.0,1.5,2.0m/s	5% 증체율 감소

출처: 최홍립, 1988.

일반적으로, 유속에 의한 육계가 느끼는 유효온도감소(effective temperature reduction)은 식(3.6)과 같이 산정할 수 있다.

$$\text{Chill Effect}(^{\circ}\text{C}) = \text{Chill Factor}[^{\circ}\text{C}/(\text{m}/\text{sec})] \times \text{Air Speed}(\text{m}/\text{sec}) \quad (3.6) :$$

그러나 분진을 과다하게 함유한 공기의 유속이 과도하게 높거나, 냉기류(冷氣流)가 형성되면, 육계의 호흡기병의 원인이 되며, [표-10]에서 보고한 바와 같이 호흡계 질병이 육계에서 가장 큰 빈발하는 질병으로 보면 공기의 온도와 유속이 특히 닭의 호흡기질병에 큰 영향을 미치는 듯하다.

[표-10] 닭 체내의 질병분포

Affected organs	A	B	C	D
	1969	1979	1980	1988
Respiratory tract	45.2%	15.8%	-	29.5%
Skeleton	15.0%	48.1%	57.3%	18.1%
Digestive tract	6.6%	-	-	10.3%
Nervous system	3.8%	-	-	-
Urinary tract	2.4%	-	-	-
Reproductive system	1.8%	-	-	-
Skin/subcutis	1.4%	9.8%	16.7%	34.5%
Other	23.8%	26.3%	26.0%	7.6%

A. Papasolomontos *et al.*, 1969; B. Bergmann and Scheer, 1979; C. Gearda *et al.*, 1980; D. Valentin *et al.*, 1988.

다. 광(Light)환경

우리나라의 육계농장에서는 사료의 섭취, 소화, 흡수를 최대화하려는 목적에서 終夜 점등(點燈)이 사용되고 있으나 전력사용이 많고 급사증후군(SDS)의 발생과 폐사율이

높다는 문제점을 가지고 있다. 육계사양에 있어서 점등설비는 ① 광(光)의 균배(均配), ② 계군을 잘 관찰하기 위한 충분한 광(光)양, ③ 계군의 생산주기 중 서로 다른 시기에 요구되는 적합한 빛의 세기가 충분히 고려된 방법으로 설치되어야만 한다 (바이엘 화학, 2001).

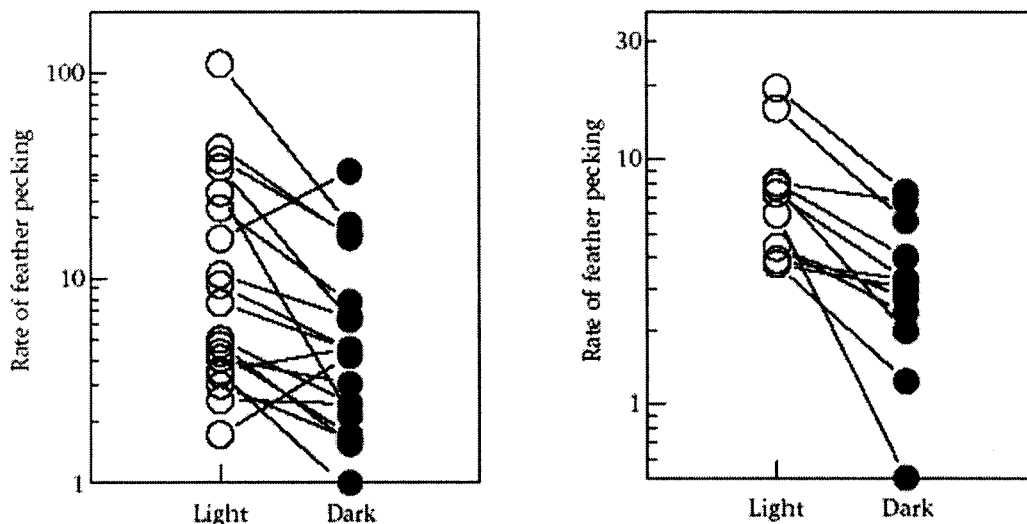
일반적으로 사육에 필요한 에너지를 줄이고 효율적인 사양관리를 위하여 점등(L:light)과 소등(D:dark)을 주기적으로 반복하는 간헐점등(intermittence lighting schedule) 프로그램을 현장에 널리 보급되고 있다. 육계를 이용한 종야점등(23L:1D)과 간헐점등(1L:3D)을 비교해 보면 사료효율이 각각 1.9, 1.8로 차이를 보이진 않았지만 사료 내 질소의 이용율에선 간헐점등을 실시한 개체들이 높게 나타났다(Buyse et al., 1996). Renden 등(1991)은 종야점등(23L:1D, 6L:18D)과 간헐점등(3L:1D)이 육계의 일령별 체중에 미치는 영향은 42일령까지는 종야점등(23L:1D)의 효율이 좋았으나, 56일령에서는 23L:1D, 6L:18D, 3L:1D의 점등을 실시한 개체들의 체중이 각각 3,328.3g, 3,243.2g, 3,371.8g으로 나타나 종야점등보다는 간헐점등이 더 효율적이라고 보고하였다.

또한 Deaton 등(1989)의 연구결과에 의하면, 여름철 sidewall curtain식 육계사에서 야간에 백열등의 광세기(75~100W) 보다는 25W일 때 최대 성장률을 보였다. 점등 광도는 사육단계에 따라 15→10→5 Lux가 기준치이지만 광도계가 없을 경우에는 초기에는 밝게 후기에는 어둡게 해준다는 생각으로 적절히 조절해야 한다. 초기에 밝게 해주는 이유는 병아리가 물통과 사료통의 위치를 쉽게 판별하기 위한 것이고, 후기에 어둡게 해주는 이유는 다른 닭을 쫓는 카니발리즘(cannibalism)의 발생과 불필요한 스트레스를 줄이려는 것이다. 광원에 따른 육계의 성장률과 광선의 파장(light wavelength)에 따른 생산성의 차이는 없는 것으로 나타났다(Zimmermann, 1988).

닭이 빛에 민감하다는 사실은 이미 잘 알려져 있다. 이는 닭의 뇌 속 '송과체'가 피부를 통과하여 들어오는 빛을 직접 감수하기 때문이다. 송과체는 간뇌 위쪽에 있는 내분비기관으로 일(日) 단위 또는 연(年) 단위로 움직이는 생체 리듬을 조절하는 호르몬을 분비한다. 즉, 닭은 뇌에서 직접 빛을 감지하기 때문에 다른 가축(소, 돼지)보다 빛에 민감한 생활 주기를 갖게 되는 것이다. 이렇게 빛에 반응하는 송과체가 닭의 생활 주기를 좌우하는 특성을 이용하여 실제로 여러 양계농가에서는 산란횟수나 털갈이 시기 등의 조절에 사용, 경제적인 효과를 창출하고 있다. 최근에는 부화과정에서의 빛 조절이 닭의 행동에 미치는 영향에 관한 연구와 부화 이후의 광원의 색이 닭의 증체율에 영향을 미친다는 연구가 보고되었다.

갓태어난 병아리의 경우, 같은 무리에 속한 개체들에 대한 인식의 형성이 단기간에

형성되는 것으로 알려져 있는데(Zajonc et al., 1975), 이 때 주변의 개체를 인식하는 수단으로 이용되는 것이 깃털을 쪼는 행위이다(Zajonc et al., 1975). 이렇게 개체가 획득한 깃털을 쪼는 행위는 부화 후 일주일 안에 나타나는데, 이것이 문제가 되는 이유는 깃털을 쪼는 행위가 적어도 21일 이상 지속되는 경우가 발생하기 때문이다. 이는 쪼임을 당하는 개체의 산란율과 증체율을 감소시켜 전체적으로 생산률이 저하되며, 다른 개체를 보호하기 위하여 지속적으로 깃털을 쪼는 행위를 가진 개체를 무리에서 격리하는 과정에서도 비용의 손실이 따르게 된다. 이처럼 깃털을 쪼는 행위는 여러 측면에서 경제적인 양계농가에 불이익을 가져오기 때문에 이를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 이와 관련하여 깃털을 쪼는 행위의 정도(지속기간)가 입란 후 달걀이 부화되기 되기까지의 빛의 처리와 관련있다는 연구가 있다. 수정란을 빛에 노출하여 부화시켰을 경우에 발생한 개체가 입란에서 부화까지의 과정을 어두운 상태로 처리하여 발생한 개체보다 깃털을 쪼는 행위(feather-pecking behavior)가 더 오래 지속된다고 Riedstra & Groothuis(2004)이 보고하였다. 이들의 연구결과는 [그림 3-2]와 같다.



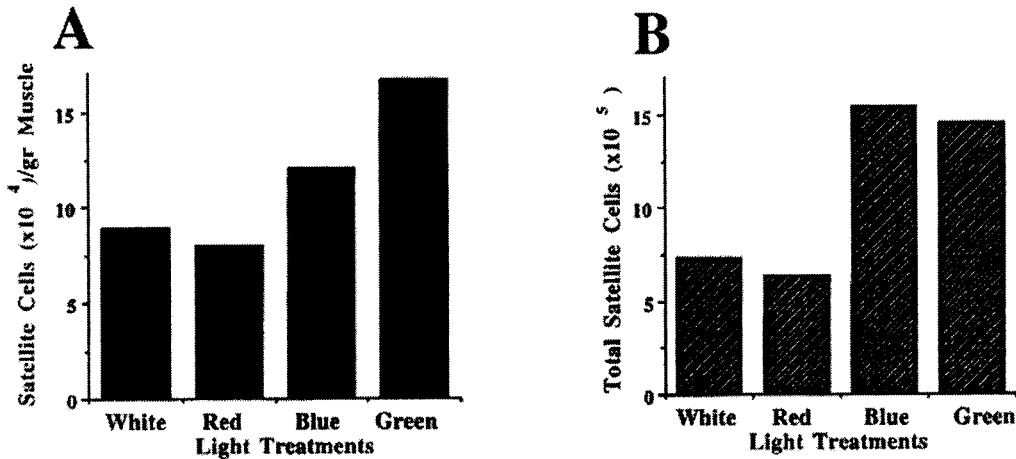
[그림 3-2] 부화과정에서의 빛의 처리에 따른 깃털을 쪼는 횟수의 차이

즉, [그림 3-2]의 左는 입란 후 19일 째 빛에 2시간 동안 노출시킨 후 부화시킨 개체와 빛에 전혀 노출시키지 않고 부화시킨 개체와 비교한 결과를 나타낸 것이며, [그림 3-2]의 右는 입란 후 19일 째 빛에 2시간 동안 노출시킨 후, 24시간 뒤 다시 빛에 2시간 동안 노출시킨 후 부화시킨 개체와 빛에 전혀 노출시키지 않고 부화시킨 개체

와의 비교한 결과이다. 실험은 백색 레그혼 종을 대상으로, 부화 후 7일령, 14일령, 21일령 등 세 차례 한 개체가 15분 당 쪼는 빈도로 관찰한 결과, 두 경우 모두 빛에 노출된 쪽이 깃털을 쪼는 행위를 더 많이 하는 것으로 나타났다.

육계의 생산에 있어서 개체의 증체율은 가장 중요한 요소 중 하나이다. 브로일러를 이용하여 실시한 연구에 따르면 광원의 색이 닭의 성장에 영향을 미친다고 보고하였다(Orana Halevy et al, 1998). 단색의 광원으로 녹색, 청색, 빨간색, 흰색을 이용한 이 실험에서 청색과 녹색의 광원 하에서 키운 집단이 그렇지 않은 경우보다 위성세포(근육세포다발을 둘러싸고 있는 세포)의 성장이 뛰어났다고 한다.

이는 부화 후 5일령에 각 처리당 5마리의 개체에서 가슴근육의 단위질량(gram) 당 위성세포의 수와 개체 전체에서의 위성세포수를 측정하였으며, 여기서 얻어낸 조직을 이용하여 성장호르몬 수용체의 mRNA의 발현정도를 측정한 결과, 이는 [그림 3-3]에서 제시한 바와 같이 청색과 녹색의 광원 하에서 성장한 집단은 위성세포에 위치한 성장호르몬 수용체 유전자의 발현이 그렇지 않은 집단에 비해 높은 것으로 나타났다.



[그림 3-3] 가슴근육의 그램 당 위성세포 수(左)와 개체 전체에서의 위성세포 수(右)

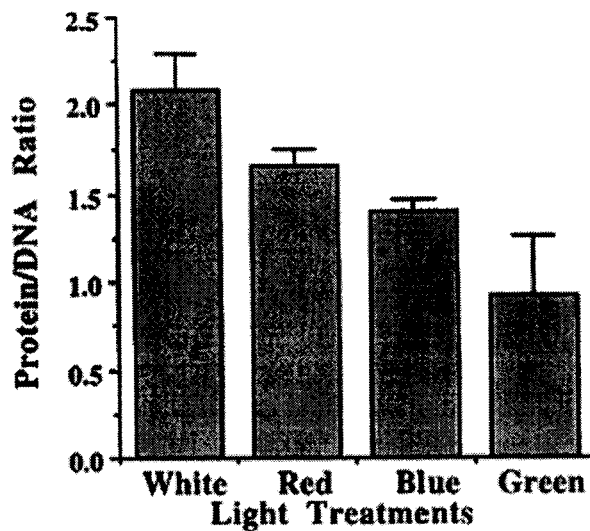
[표 3-7]에서 보는 바와 같이, 부화 후 35일령에 각 처리당 28마리의 개체의 체중과 가슴근육의 질량을 측정한 결과 청색과 녹색의 광원 하에서 성장한 집단의 근육 성장이 뛰어난 것을 알 수 있었다고 Orna Halevy (1998)는 보고하였다.

[표 3-7] 각 처리에 따른 개체의 질량 및 가슴근육의 질량

Light treatment	White	Red	Blue	Green
Body weight(g)	1452±25.4	1463±35.8	1535±20.0	1558±24.8
Breast muscle(g)	173.6±4.3	167.0±5.8	181.3±3.4	187.3±4.7
Breast muscle (% of body weight)	11.64±0.19	11.56±0.19	11.85±0.16	11.91±0.22

출처: Orna Halevy (1998)

성장정도를 확인하기 위하여 직접 질량을 측정하는 방법 외에도 단백질과 DNA의 비율을 측정함으로써 재확인할 수도 있다. 근육이 성장하기 위해서는 세포증식에 필요한 핵의 증가도 요구되는데, 핵이 증가한다는 의미는 DNA가 증가함을 뜻한다. 따라서 동일한 양의 조직에서 단백질/DNA 비율을 확인하면 성장의 정도를 확인할 수 있다. Orna Halevy(1998)는 부화 후 35일령에 각 처리당 5마리의 개체의 가슴근육에서 단백질/DNA 비율을 측정한 결과, 청색과 녹색의 광원 하에서 성장한 집단에서 채취한 조직에서의 단백질/DNA 비율이 백색과 빨간색을 광원으로 사용한 집단보다 낮게 나타나므로 성장속도가 빠르다는 것을 확인할 수 있다.



[그림 3-4] 각 처리에 따른 단백질/DNA 비율

라. 진동(Vibration)과 소음(Noise)환경

소음의 인지는 소음원, 소음수준, 소음원으로부터의 거리, 주관적 요인, 감응도

(sensivity) 등에 따라 다르다. 그러므로 '소리(sound)'에서 '소음(noise)'으로의 전이(轉移)과정은 '음향적(acoustic)'에서 '생리적(physiological)'과 마찬가지로 다르다. 일반적으로 갑작스런 소음은 시상하부 뇌하수체 부신피질시스템의 자율신경계를 자극하여 혈액순환과 에너지대사를 가속시키는 긍정적인 효과도 있지만 (Haberlah & Jeschke, 1975 in Strauch, 1987), 대부분의 경우, 닭의 공포를 유발하여, 위와 내장에 돌기가 발현되기도 한다. 현재까지 소음에 대한 임계값이 제시되지는 않았지만 Algiers & Ekesbo (1977 in Strauch, 1987)은 사람의 주거공간을 기준으로 축사 내 소음이 45dB를 넘지 않도록 제안하였으나, 이는 현장에서는 적용하기 어려운 극저 기준값이므로 이에 관련된 현실적인 기준값의 제시가 필요하다.

진동·소음 수준에 따라 가축의 피해유발 정도는 지진·지질상태 입지여건, 평시 생활 진동·소음도, 축종, 사양관리 형태, 축군 및 개체별 건강상태, 진동·소음반복주기, 노출시간, 주·야간, 조·석별, 기상상태, 피해유발 물체의 가시여부 등에 따라 현저한 차이가 있다(황우석, 1997). 또한 진동과 소음이 동시 발생되었을 시는 개별요인의 경우보다 피해가 증가되며 야간작업시 강한 조명등이나 차량전조등의 영향과 병행될 경우는 피해가 가중되는 것으로 밝혀졌다. 황우석(1997)은 진동과 소음에 대한 반응도가 여러 요인에 따라 상이하므로 특정 진동과 소음 수준에서의 육계에 미치는 영향을 확일적으로 규정할 수는 없고 국내에도 이에 대한 종합보고사례가 없지만 피해를 입은 농가들의 사례와 자료들 중 일부를 비교해 보면 [표 3-8]과 같다.

[표 3-8] 진동과 소음에 따른 육계피해의 관계

구 분	피 해 정 도		
	진 동	소 음	
폐사율	5~10%	0.1~0.5(min/sec)	60~70dB(A)
증가성장	10~20%	0.5~5.0(min/sec)	70~80dB(A)
지연	30%이상	5.0~10.0(min/sec)	80~90dB(A)

자료) 「건설공사에 의한 가축피해 및 구제방안」 1997.
출처) 「가축분뇨처리 및 조사료 증산방안」 1997.

2. 화학·미생물적 환경(chemical & microbial environment)

가. 유해기체(harmful gases)

계사의 화학·미생물학적 환경(chemical & microbiological environment)은 악취, 먼지, 부유물질 등 입상물질(particulate matter) 등의 환경변인을 포함한다. 기체상 오염물질은 단위동물이 발생하는 CO₂, 반추동물이 발생하는 CO₂와 CH₄, 유기성 폐기물의 분해과정에서 발생하는 미량의 유해기체 및 계분의 분해과정 중에서 발생하는 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S) 등이 주요 악취원인 물질들이다.

또한 계분과 체표면 노폐물 분해과정에서 생산되는 아민(amines), 아마이드(amides), 알콜(alcohols), 알데하이드(aldehydes), 키톤(ketones), 머캡탄(mercaptans), 다이설파이드(disulfide), 카보닐 설파이드(carbonyl sulfide)와 지방산(fatty acid) 등의 미량기체(traces gases)도 함께 휘산된다. 이러한 기체는 미량으로 존재하므로 축사내에 과량으로 축적되지 않는 한, 일반적으로 생산성을 크게 저해하지 않을 것으로 이해되고 있다.

계분으로부터 발생하는 악취는 계종에 따라 약간씩 차이가 있으며 대부분은 유해기체가 함유되어 있다. Tamminga (1992)는 가금의 악취기체성분을 조사한 결과, 휘발성분으로 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 황화수소(H₂S), 암모니아(NH₃), 메탄 외에 C₁~C₄의 mercaptan, dimethylsulfide, dimethyldisulfide; acetone; C₁, C₂ aldehyde; alcohol group; C₂~C₆의 휘발성지방산; ester; phenol, p-cresol, p-ethylphenol, indole 등이 검출되었다. 계분에는 저급 지방산이 적고 오히려 계분의 독특한 악취성분으로 C₄~C₉의 alcohol 및 indole 등이 함유된 중성 휘발성성분이 많이 포함되어 있으며, 계분의 악취강도는 계분의 수분함량과 거의 비례한다고 보고하였다. Mutai(1983)는 미생물에 의해 생성된 indole은 장관내에서 흡수되어 indican으로 전환되고 간으로 이동되며, 이것은 최종적으로 urine의 형태로 배출되므로, indole은 skatole과 함께 가축 배설물 분취의 원인이기도 하며, 발암성 물질이기도 하여 이의 제어가 필요하다고 하였다.

van Horn 등(1994)은 암모니아의 주된 발생원을 조사하고 urine으로부터 유래된 요소 혹은 가금의 경우 uric acid가 주발생원임을 보였다. Taigandies & White (1969), Day (1983) 등은 암모니아는 공기보다 가볍고 pH가 증가할 때 휘산되며 물에 용해되며, 가축에게 약 100~200ppm의 농도로 노출시켰을 때 재채기, 침흘림, 식욕감퇴가 발

생한다고 하였다. Valentine(1964)은 또 24℃의 환경온도와 환기율 18.3 CMM(m³/min)에서 육계사의 암모니아농도는 15~90 ppm으로 측정되었으며, 암모니아 농도 60~70ppm의 암모니아 농도에서 성장율이 감소하였으며(Valentine, 1964), 환기율을 두 배로 증가하면 암모니아농도는 50ppm으로 감소되었다고 보고하여 환기율의 중요성을 제기하였다.

황화수소(H₂S)는 공기보다 무거우며 물에 용해되고 축사 환기시에서는 0.09ppm, 6시간 동안 밀폐시에서는 0.28ppm이 측정되었으며, 청소시에는 200~300 ppm으로 급증하였다고 보고하였다. Wolfe 등(1968)은 가금사에서 0~10ppmNH₃ & 먼지농도 7.1~17.7mg/m³ 환경에서 20~30ppm NH₃와 먼지농도 24.7~35.3mg/m³ 환경으로 바뀌면 airsocculitis가 현저하게 증가하였지만, 사료효율에는 큰 변화가 없다고 하였다. 이와 유사한 암모니아와 먼지농도조건에서 6일 동안 닭을 뉴캐슬 바이러스질병(Newcastle Disease Virus : NDV)에 노출시켰을 때 현저한 부작용은 없었다고 보고하였으나, 20ppm의 NH₃에 장기간 노출시켰을 때 NH₃가 없는 환경과 비교해서 6주 후에 폐질환이 일어났으며 농도에 따라 NDV에 걸리기 쉬웠다고 보고하였다.:

전술한 유해기체가 닭의 생리에 미치는 영향을 다시 정리하면 [표 3-9]와 같이 유해기체가 닭의 직·간접적 생산에 지대한 영향을 미치므로 이를 희석시키기 위한 두 변인(유해기체-환기)간 동적 상관관계에 관한 연구가 이루어져야 한다.

[표 3-9] 유해가스가 인체와 닭에 미치는 영향

유 해 기 체	공기중 함유농도 (ppm)	독 성 증 세	
		사 랫	닭
황 화 수 소 (H ₂ S)	10	눈이 매웁다	식욕감퇴, 신경질
	20	눈, 코, 목을 자극	폐수종, 치사
	200	어지러움, 폐렴	
암 모 니 아 (NH ₃)	6~20	눈과 목을 자극	
	50		성장지연, 호흡기질병유발
	100	눈, 코, 목의 충혈	젖은 재채기, 식욕감퇴, 눈물
탄 산 가 스 (CO ₂)	40,000	호흡수 증가	호흡수 증가
	90,000~100,000	어 지 러 움	불 안 감
	20~25		병아리가 약해짐
일산화탄소 (CO)	50 @8시간 노출시	두 통	
	150		성 장 정 체
	4,000	치 사	
메 탄 가 스 (CH ₄)	1,000	8시간 최대허용치	
	50,000~150,000		두통 및 폭발 위험

자료) 현대양계, 1991.

나. 부유물질(Pariculate Matter)환경 ; 먼지(Dust) 및 부유미생물(Microbes)

먼지 및 부유 미생물(airborne bacteria)는 양계에 있어 가장 일반적인 오염물질로 배설물, 사료, 닭의 피부와 깃털에서 발생한다. 날개를 퍼덕거리고 사료를 파헤치는 닭의 습성 때문에 계사환경은 다른 축종에 비해 상대적으로 많은 먼지를 발생시키는 원인이 되고 있다. 계사내 부유물질은 화학적 조성이나 형태가 균일하지 않다. 또한 입경이 극미세(ultrafine), 미세(submicroscopic), 조립(coarse)에 이르기까지 다양하며, 주로 병원성균과 악취는 상대적으로 입경이 큰 조립먼지에 의해서 전파된다. 공기중 부유물질의 농도, 입경분포, 화학적 조성은 사료, 급이방법, 깔개의 종류, 계종에 따라 다르며, 환기정도, 사육밀도 및 온도, 대기 중의 가스농도 등에 따라서도 영향을 받는다.

계사 내에서 먼지와 공기 중 부유균(이하 '부유물질'이라 함)이 사람의 건강과 닭의 생산성에 미치는 영향을 분리하여 서술하기는 힘들다. 기본적으로 부유물질에 의한 장애는 주로 '호흡기질환'으로 나타난다. 호흡기의 조직세포는 부유물질에 의해 직접적인 손상을 받을 뿐만 아니라 암모니아가 부착된 부유물질입자가 호흡기 하부로 이동하게 됨으로써 또한 간접적으로 손상을 받을 수 있다. 이 두 경우에 있어서 조직의 손상 정도는 생산성저하는 물론이고 폐사율이 높은 질병에 감염된 경우에 비해서보다 훨씬 더 심하게 나타난다. 계사에서 깃털편에서 발생하는 먼지모양은 긴 원통형으로 직경이 약 4μ 이며, 피부탈락으로 인한 먼지입경은 $1\sim 450\mu$ 로서 기체와 액체를 흡수할 수 있으므로 입상먼지는 닭에 치명적인 전염병인 마렉바이러스(Marek virus), Salmonella, E coli를 포함하여 여러 질병을 일으키는 미생물 등 바이러스와 병원균을 옮기는 운반체로 의심하였다. 그 부유물질이 호흡기관의 점막에 직접되어 화학적, 물리적 염증을 일으키거나 알러지반응을 유발한다고 하였다. 또한 암모니아, 먼지입자, 병원균에 의한 복합적인 작용은 닭의 폐와 기낭에 가장 심각한 병변을 유발시킨다고 하여 하였다(Meyer, 1963; Harry, 1964; Fabricant & Levine, 1967; Lillie, 1970 in Hellickson & Wilson, 1983). 특히 전자 두 연구는 E. coli와 호흡기질환은 매우 밀접한 관계가 있으며, 오염먼지와 계분이 부유병원균의 주된 원이라고 하였다. 실제 Harry(1964)는 육계사내 1g의 먼지에서 $2\times 10^5\sim 8\times 10^5$ E coli가 있음을 관찰하였다.

[표 3-10]은 우리나라 계사에서 발생하는 먼지중에 함유된 금속농도에 대한 조사결과를 나타낸 것이며, 이중 납(Pb)과 니켈(Ni)의 평균 농도는 각각 84ppm, 60ppm으로 장기간 이런 환경에 노출될 경우, 부작용이 우려된다. 계사내 작업인이나 닭이 먼지농도 $25\text{mg}/\text{m}^3$ 이상의 환경에서 장시간 노출되면 갖가지 호흡기 질병과 알러르기 증세를 초래할 수 있음을 보였다(용준호 등, 1994).

[표 3-10] 계사내 호흡성 분진중에 함유된 금속농도

농장	계사	분진농도		납	카드뮴	구리	니켈
		앞	중간				
F-1	H-1	1.22	2.14	8.864	0.132	3.105	6.648
	H-2	1.35	2.21	8.801	0.176	3.344	6.953
F-2	H-3	1.14	1.97	7.582	0.094	3.033	5.383
	H-4	1.11	2.05	6.942	0.083	3.124	4.721
F-3	H-5	1.32	2.93	9.576	0.181	3.394	6.320
	H-6	1.27	2.65	8.901	0.136	2.403	6.079
평균		1.24	2.33	8.444	0.134	2.901	6.017

자료) 용준호 등, 1994.

진술한 부유물질의 닭에 대한 유해성은 병징후와 질병원인 간의 관계를 밝히는 것은 여간 어렵지 않다. 그러나 분명한 것은 계사 내 부유물질의 농도가 상승하면 주로 병원성세균, 바이러스, mycoplazma 등에 의한 감염이 만연된다는 것은 확실하다. 그러므로 계사 내 부유물질(먼지, 병원성균, 악취입자 등)을 희석시킬 수 있는 대책이 마련되어야 한다. 이를 위하여 부유물질의 특성을 잘 이용하면 이에 대한 해답을 구할 수도 있다. 공기중의 부유물질 특히 병원성균(airborne bacteria)의 물리적인 수명은 15분에 지나지 않는 반면 이의 생물학적 수명은 이 보다 훨씬 길기 때문에 병원성균 (bacteria or virus)의 소멸은 생물학적 방법보다는 물리적인 환기(ventilation)방법에 의하는 것이 훨씬 효과적이라는 결론에 이른다. 아래의 [표 3-11]은 계사의 자재와 부분에 대한 살모넬라의 검출 여부를 나타내 표로 저사의 건축재 결정과 환기방식의 결정에 큰 영향을 미치게 된다.

[표 3-11] Definition of explanatory variables included in analysis of *Salmonella* persistence and percentage of house for each level of the variables (86 Broiler Houses, Western France, 1997)

Definition of variables	Level	Percentage
Fresh litter		
The straw stock on the farm	Yes	83.7
	No	16.3
Straw origin	Produced on the farm studied	34.9
	bought from outside	65.1
Use of the same farmyard tractor with dung fork to litter and for manure cleansing	Yes	79.1
	No	20.9

Type of litter ^a	straw not chopped	14.0
	straw with chopper belonging to the farmer	25.6
	chopped straw with chopper shared between several farmers	60.4

House characteristics

Wooden plates for the walls	Yes	36.0
	No	64.0
Base of walls	Smooth	36.0
	Smooth but irregular	27.9
	Rough	14.0
Walls	Smooth	73.2
	Smooth but irregular	12.8
	Rough	14.0
Wall-slabs are coming apart	Yes	34.9
	No	65.1
Ceiling-slabs ^a	Smooth	79.1
	Rough	20.9
Ceiling-slabs are coming apart	Yes	26.7
	No	73.3
Air inlets	Easy to clean and disinfect	62.8
	Difficult(not accessible)	37.2
Air outlets	Easy to clean and disinfect	66.3
	Difficult(not accessible)	33.7
Manure evacuation	In front of the change room	44.2
	End of the house	55.8

Decontamination procedure

Cleansing of the house by a contractor	Yes	12.8
	Only by the farmer	87.2
Disinfection of the house by a contractor ^a	Yes	23.3
	Only by the farmer	76.7
Origin of the water used for cleansing ^a	Public origin	48.8
	Private origin(well, boring)	51.2
Disinfection of the access of the house (in front of the doors) ^a	Yes	68.6
	No	31.4
Specific disinfection of air inlets	Yes	58.1
	No	41.9
Specific disinfection of air outlets	Yes	50.0
	No	50.0
Removal of dust before cleansing ^a	Yes	24.4
	No	75.6
Removal of manure before cleansing	Yes	24.4
	No	75.6

Disinfection of the house ^a	Two disinfection (approved ^b disinfectants)	41.9
	One disinfection (approved disinfectants)	36.0
	No disinfection or only one (not approved disinfectant)	22.1
Days between the first disinfection and the day of chick placement ^a	<10 days	53.5
	≥10 days	46.5
Specific disinfection of the floor	Yes	82.6
	No	17.4
Specific disinfection of feed hoppers	Yes	57.0
	No	43.0
Cleansing of starting-feeders	No starting-feeders	16.3
	Cleansing with detergent	18.6
	Cleansing without detergent	65.1
Cleansing of feeders	Cleansing with detergent	15.1
	Cleansing without detergent	72.1
	No cleansing	12.8
	Yes	66.3
Specific disinfection of feeders	No	33.7
	No starting-feeders	16.3
Specific disinfection of starting-feeders ^a	Yes	67.4
	No	16.3
	Yes	67.4
Specific disinfection for drinkers	Yes	67.4
	No	32.6
<i>Access and surroundings</i>		
Percentage of area around the barn accessible to trucks ^a	<58%	46.5
	≥58%	53.5
Concrete area (percentage of accessible area used by trucks) ^a	<8%	50.0
	≥8%	50.0
Manure spreading <100m from the house studied	Yes	79.1
	No	20.9
Distance between the house studied and the nearest poultry farm	<650m	50.0
	≥650m	50.0
Poultry on the farm in other houses	Only broiler	64.0
	Other	36.0
Non-commercial or <i>conamental</i> poultry on	Yes	32.6

the farms	No	67.4
Characteristics of the previous flock		
Type of poultry reared on the previous flock	Broilers	83.7
	Others	16.3
Disease leading to a treatment of the previous flock	Yes	52.3
	No	47.7
Dead-bird management		
Disposal of dead birds	Quartering and container >20m from the house	36.0
	Quartering and container ≥20m from the house	51.2
	No quartering	12.8
Dead-bird stock	Frozen	64.0
	Not frozen	36.0
Control of wild life		
Rodents observed by the farmer	Yes	31.4
	No	68.6
Rodent-control contract	Yes	54.7
	No	45.3
Insect-killing with an insecticide for little beetles	Yes	65.1
	No	34.9

^aVariable retained at screening step to be offered to logistic model($p < 0.25$)

^bMAPA-approved disinfectant (Ministere de l'Agriculture de la Peche et de l'Alimentation, 1995)

[표 3-11]에 따르면 계분이 살모넬라의 분포에 가장 큰 영향을 미치며, 계사의 건축재보다는 위생상태 여부도 질병미생물(살모넬라)의 분포에 더욱 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 그러하다면 계사의 건축재가 육계의 사육에 미치는 영향보다, 청소의 정도와 빈도가 더 중요할 것으로 판단된다.

다. 사육밀도

계사의 적정 수용수수는 계사의 보온능력, 계사 내 온도, 습도, 환기시설 유무, 바닥 상태, 닭의 성장속도 등에 따라 달라진다. 만일 급이거나 급수기가 충분히 확보되지 않는 상태에서 사육밀도가 높아질 경우 서열경쟁과 카니발리즘(Cannibalism), 폐사율의 증가에 따른 문제가 발생한다. 또한 사료 섭취량 감소와 사료효율의 저하를 비롯하여 흉부 수종과 같은 질병 발생 빈도도 증가하여 생산성은 물론 닭의 상품가치도

저하될 가능성이 커진다. 육계의 출하체중별 적정 사육밀도는 [표 3-12]를 통해 확인할 수 있다.

[표 3-12] 육계 출하체중별 적정 사육밀도 (North, 1984)

출하체중, kg	사육수수(수/坪)	생산량(kg/坪)
1.4	55	81
1.8	47	81
2.3	37	81
2.7	27	78
3.2	21	68

1) 국내·외 최소 육계면적 기준

[표 3-13]에서 보듯이 국내외 관계없이 사육밀도의 경우, 감독기관이나 개방평사의 경우 평당사육두수를 50수를 권장하거나 사육하는 경향이 강하나, 무창계사의 경우, 70여수를 실제 사육하고 있는 것으로 나타났다.

[표 3-13] 국내·외 육계사육밀도

축종	축사시설면적 (m ² /수)	평당사육수수	축사형태기준	비고
육계	0.045~0.06	55~73	무창	평사 ○축종별 두당 축사면적 실태조사 결과
	0.06~0.063	52~55	개방	
	0.042	78	케이지(cage)	○축산업등록제 경영형태별 두당 축사면적 산정기준 및 근거
	0.046	72	무창	
	0.066	50	개방	
	0.07	47	갈개평사	○유기가축복지보장축사 밀도
	0.066~0.073	45~50	축사99-육계-다(A-02)	○축사표준설계도 축종별사육시설면적 비교
	0.09	48	갈개평사	○'03년도 축산물생산비 (농림부) 자료
0.044	75	무창-평사	○ Datensammlung fuer die Betriebsplanung in der Landwirtschaft (KTBL, 1983)	

[표 3-14] 사육밀도가 육계의 생산성에 미치는 영향

면적 (m ² /수)	평당 사육수수	체중 (g)	사료요구율	폐사율 (%)	평당 소득 (원)
0.110	30	2,139	2.40	95.6	10,019
0.073	45	2,077	2.43	94.8	12,223
0.055	60	1,932	2.52	93.8	10,490

출처: 축산기술연구소, 1993

[표 3-15] 사육밀도와 육계의 생산성 지수

면적 (m ² /수)	평당 수수	지 수 (%)				수익지수 $\epsilon=d/(a*b*c)$
		체중,a	폐사율,b	사료요구율,c	면적당출하량,d	
0.09	37수	100	100	100	100	1.00
0.08	41	99	110	101	110	1.00
0.07	47	98	124	102	122	0.98
0.06	55	97	143	103	137	0.96
0.05	66	96	171	105	155	0.90
0.04	83	94	214	107	183	0.85
0.03	110	91	276	110	219	0.79

출처 : North, Commercial chicken production manual, 1984

[표 3-16] 사육 밀도별 육계의 생산성과 수익성 차이

평당 수수	폐사율 %		체중 g		사료 요구율	A등급 도체율,%		흉부수종 발생, %		수익지수	
	암	수	암	수		암	수	암	수	수당	면적당
40	3.3	8.3	1,867	2,275	2.13	80.5	58.4	5.0	13.0	100	100
44	1.8	3.8	1,826	2,209	2.09	76.1	52.1	4.7	25.6	105	131
58	4.2	9.4	1,828	2,146	2.12	74.2	51.8	10.8	25.7	92	154
87	4.8	8.0	1,658	2,016	2.15	58.6	27.6	16.3	40.0	76	190

출처 : Proudfoot, 1979

[표 3-17] 육계 사육밀도변화에 따른 경제성

단위 : 푼

항 목	평당 사육수수(수)	
	27	36
농가 소득(수입-지출)	5,559(206)	7,813(217)

출처 : 1993년 아오모리 축산시험장

○ 육계는 사육밀도에 따른 생산성 효과가 상대적으로 크게 나타나며, [표 3-14]에서 [표 3-16]을 분석할 결과, 사육밀도 완화로 18%의 질병발생 감소, 20%의 분뇨발생량

감소를 나타내었다.

일반적으로 두당 사육면적이 늘어나면 성장, 사료섭취량 및 사료효율 등이 개선되지만, 적정면적 이상에서는 오히려 성장률 등을 감소시키므로 적정 사육면적을 유지하는 것이 필요하다. 또한 사육밀도 완화에 따른 수당 소득은 증가하지만 단위면적(m^2)당 농가 소득은 당연히 감소한다. 친환경축산직불제 시범사업 참여농가는 친환경축산을 구현하는 선도농가 위주로 참여하므로 닭 $0.07m^2/두$ 로 완화하는 경향이 뚜렷하다.

제 2 절 환기율 산정이론개발 및 환기시스템 정립

환기는 공기의 혼합을 통해 오염된 공기를 희석시키고, 집적된 열과 수분·악취·먼지 등을 제거하며, 가축에게 신선한 공기를 제공해주는 기작이다. 환기는 기본적으로 공기의 교환으로 이루어지며, 그것은 열교환과 수분교환으로 나뉘게 된다.

1. 환기율 산정이론

이 장에서는 축사 환기에 필요한 공기 유동율을 결정하기 위한 질량보전의 법칙, 에너지보전의 법칙 등의 기본 균형식들을 설명하며, 이들 법칙의 적용을 예를 들어 설명함으로써 이해를 돕고자하였다.

가. 기본방정식

공기 흐름율을 결정하기 위하여 필요한 기본 물리적 법칙은 에너지보전의 법칙과 질량보전의 법칙이다. 물론 공기자체의 특성도 상태방정식(state function)에 따른다. 『定常 (steady state) 유동 조건의 제어공간(CS: control space) 내에서는 항상 들어온 것은 나가야 한다』는 보전법칙을 식으로 쓰면 다음과 같다:

$$\sum \text{획득 (Gains)} = \sum \text{손실 (Losses)} \quad \text{-----}(3.7)$$

물론 제어체적 내에서는 획득, 손실들은 여러 항일 수 있음을 염두에 두어야 한다.

1) 顯熱(sensible heat) 평형

축사를 제어공간(CS)이라면 [그림 3-5]에서의 열획득, 손실항을 식(3.7)에 기초하여 평형식을 쓰면 다음과 같다.

$$Q_s + Q_{so} \pm Q_{h/c} \pm Q_{c/e} + Q_{vi} = Q_{vo} + Q_w + Q_f \quad \text{-----}(3.8)$$

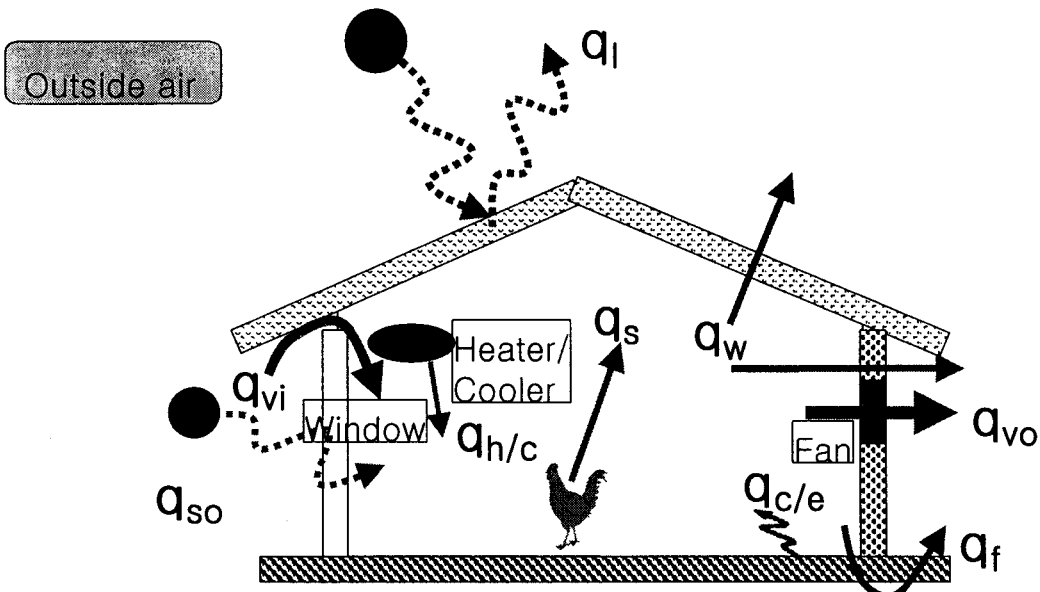
여기서,

Q_s : 體熱, W

$Q_{h/c}$: 모우터, 전등 등에 의한 현열발생(+) 또는 냉각기 등에 의한 현열손실(-), W

$Q_{c/e}$: 수증기의 응결에 의한 현열발생(+) 또는 수분증발에 의한 현열손실(-), W

- q_{vo} : 배출되는 외부 공기의 현열손실, W
- q_{vi} : 유입되는 내부 공기의 현열발생, W
- q_{env} : 建周面 (벽, 마루, 천장, 출입문, 창문 등)을 통한 열손실, W
- q_{so} : 천장 등을 통한 태양복사열 입력, W
- q_w : 지붕, 벽 등을 통한 현열손실, W
- q_f : 바닥 이음을 통한 현열손실, W



[그림 3-5] 축사 내(CS) 열환경 기여인자

식(3.8) 계사 내 열평형에 기여하는 각 항의 크기 (the order of magnitude)를 가름하여 이를 간략화하고, 환기율에 관하여 정리하면 식 [4.3] 과 같다.

$$q_s + q_{so} \pm q_{h/c} \pm q_{c/e} = (q_{vo} - q_{vi}) + q_w + q_f \text{ ----- (3.9)}$$

즉, 겨울철 축사내 적정온도를 유지하기 위해 가열(加熱)이나 한 여름 실내온도 저하를 위하여 냉각(冷却)을 할 수도 있다 ($q_{h/c}$, 축사벽면의 응결, 바닥의 허실 수 증발($q_{c/e}$), 창문 등을 통한 태양복사열 (q_{so})은 일반적으로 다른 항에 비해 상대적으로 훨씬 적으므로 이를 무시할 수 있다. 그러나 축사시설, 축종, 飼養방법, 가축의 성장단계, 축사의 斷熱수준, 환기수준 등에 따라 다르므로 이를 유의깊게 분석할 필요가 있다.

가) 환기열손실 : 식(3.9)의 환기에 의한 열손실은 $q_v = (q_{vo}-q_{vi})$ 은 식(3.10)과 같다.

$$q_v = m (h_i-h_o) \text{ -----(3.10)}$$

또는

$$q_v = m C_p (t_i-t_o) \text{ -----(3.11)}$$

여기서,

- q_v : 환기에 의한 열손실, W= kJ/s
- m : 환기 공기질량, kg/s
- h_i : 내부공기의 엔탈피 kJ/(kg-건공기)(= $C_p \cdot t_i$)
- h_o : 외부공기의 엔탈피, kJ/(kg-건공기)(= $C_p \cdot t_o$)
- C_p : 건공기의 비열(=1.0035), kJ/(kg-건공기)($^{\circ}$ C)
- t_i : 실내 공기온도, $^{\circ}$ C
- t_o : 실외 공기온도, $^{\circ}$ C

나) 건주면(建周面) 열손실 : 건주면을 통한 열손실은 기본적으로 전도(conduction)이며, 이는 식 (3.12)와 같이 표현할 수 있다.

$$q_w = AU(t_i-t_o) \text{ -----(3.12)}$$

여기서,

AU : 건주면에 의한 열손실 계수, W/ $^{\circ}$ C

다) 바닥열손실 : 바닥을 통한 열손실 (q_f)도 기본적으로 전도 mode이며 식(3.13)과 같이 표현할 수 있다.

$$q_f = FP (t_i-t_o) \text{ -----(3.13)}$$

여기서,

- F : perimeter heat loss factor, 1.5 W/m $^{\circ}$ C
- P : 주장(周長)

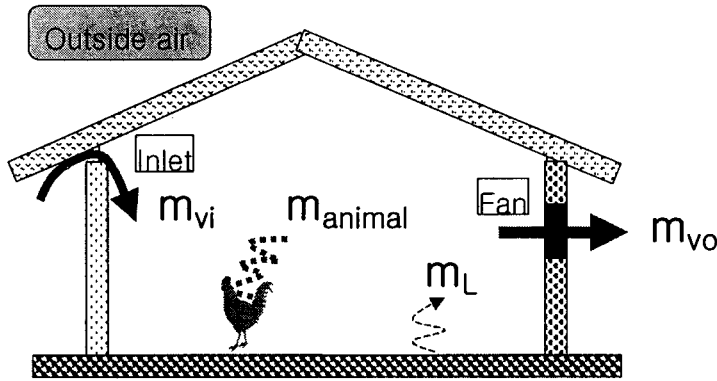
식(3.11)~(3.13)를 에너지 보존의 법칙인 식(3.9)에 대입하여 이를 환기율(m)에 대해서 정리하면 :

$$q_s = AU(t_i-t_o) + FP (t_i-t_o) + m C_p (t_i-t_o)$$

$$m = q_s - [(t_i-t_o) (AU+ FP) / C_p (t_i-t_o)] \text{ -----(3.14)}$$

2) 水分(潛熱) 평형

축사 내 집적되는 수분을 제어하기 위하여 필요한 소요환기율을 결정하기 위하여 그림[3-6]을 계사의 제어공간으로 보고 수분의 획득, 손실에 기여하는 항을 식(3.15)와 같이 쓸 수 있다.



[그림 4.1] 축사 내(CS) 수분환경 기여인자

$$m_{vi} + m_{animal} + m_L = m_{vo} \text{ -----(3.15)}$$

여기서, m_{vi} , m_{vo} 유입공기의 함유수분율, g/s
 m_{animal} : 가축이 발생하는 수분율, g/s
 m_L : 바닥에서 증발되는 수분율, g/s

앞서 시행한 열환경분석에서와 마찬가지로 식(3.15)에서 축사 내 수분평형에 기여하는 각 항의 크기 (the order of magnitude)를 가름하여 간략화하고, 이를 환기율에 관하여 정리하면 식(3.16)과 같다.

$$m_{vi} + m_{animal} + \eta m_L = m_{vo} \text{ -----(3.16)}$$

1) 환기에 의한 수분획득 및 손실

공기중 수분함량은 습도비(humidity ratio)와 공기량의 곱으로 표현된다. 이를 수식으로 표현하면 식(3.17), (3.18)과 같다.

$$m_{vi} = \rho V_o W_o \text{ -----(3.17)}$$

$$m_{vo} = \rho V_i W_i \text{ -----(3.18)}$$

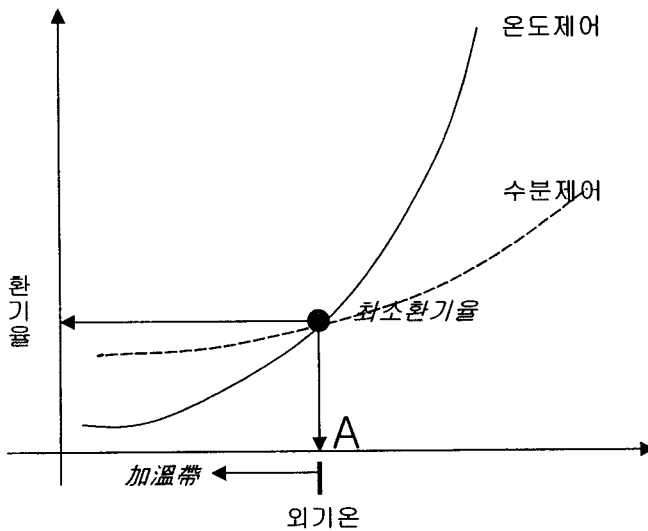
2) 가축에 의한 수분발생

실험자료는 ASAE yaerbook을 참고할 수 있다. 식 ((3.17), 식(3.13)을 수분평형 식(3.16)에 대입하여 환기율에 대해서 풀면 식(3.19)가 된다.

$$m_{air} = m_{animal}/(W_i - W_o) \text{ -----(3.19)}$$

나. 온도와 습도에 따른 환기율 결정

식(3.14)를 실내 온도를 설정하고 외기온의 변화에 따른 환기율을 결정하여 이를 그래프화하고, 식(3.19)를 이용하여 습도제어에 따른 그래프를 작성하면 [그림 3-7]의 그래프를 얻을 수 있다. 이 두 곡선의 교차점에서 최소환기율을 결정할 수 있다. 다만 외기온이 A점보다 낮을 때는 최저 실내설정온도를 유지하기 위하여 식(3.8)에서 산정한 양의 가온(加溫)을 해야 한다.



[그림 3-7] 온도-습도제어를위한 환기곡선

2. 환기시스템

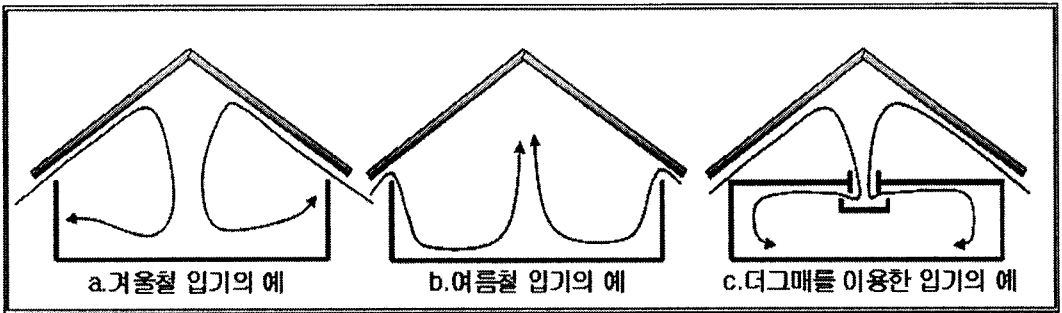
일단 환기율이 결정되면 이를 적용할 hardware적 환기시스템을 결정해야 한다. 기본적으로 음압식, 양압식, 중압식 등 세 가지 형태의 환기시스템을 현장에서 흔히 적용하나 공기유동이 균일성 때문에 음압식을 선호하는 경향이 강하다. 그러므로 이를

적용할 경우 입기(入氣)시스템의 선정이 매우 중요하다. 왜냐하면 모든 운동량(공기유속)이 입기에서부터 실내로 분포되기 때문이다.

가. 입기(入氣)시스템

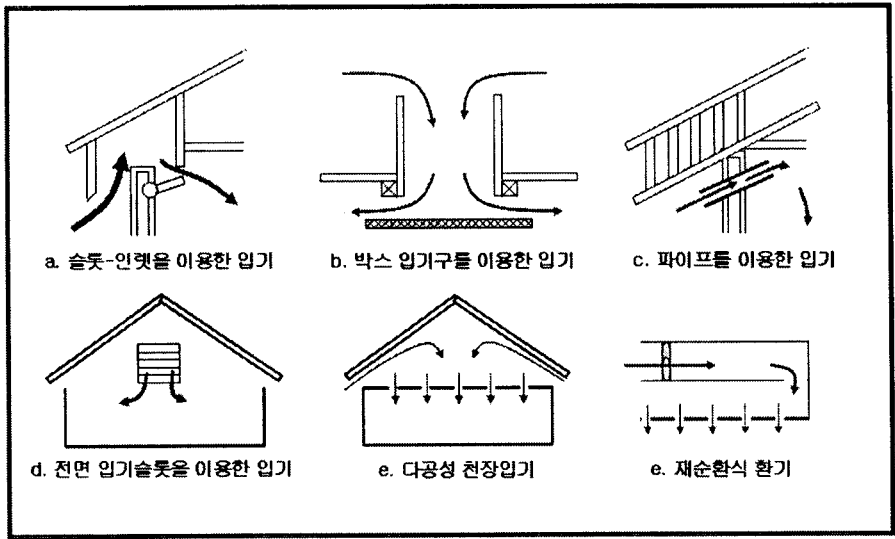
본 연구에서는 기본적으로 기계식 음압환기시스템의 입기방법은 여러 가지가 있지만, 입기장치로는 1) pipe 입기관 ([그림 3-8a]), 2) slot inlet입기 ([그림 3-8]a) 3) box 입기 ([그림 3-8] c) 4) 공기분배관을 이용한 입기구를 사용하며, 양압식 입기구로는 입기 팬을 사용한다. [그림 3-8]과 같이, 겨울철 입기구는 유입공기jet가 공간을 거치게 하여 동반흐름공기의 유입으로 체트가 커지면서 가온(加溫)된다. [그림 3-8]c과 같이 더그매로 공기가 유입될 경우, 더그매를 거치게 하여 축사 내부로 들어올 때, 외부 공기보다 상당히 가온된 상태로 유입될 수 있도록 하며, 여름철에는 유입공기제트가 가능한 한 돈방의 돼지에 직접 노출되게 하여, 체온저감의 효과를 극대화할 수 있다.

또한, 슬롯을 통해 유입되는 공기의 유속은 슬롯의 폭과 정압차에 의해 결정되므로, 입기유속을 유속을 얻기 위해서는, 슬롯의 폭이나 입기 파이프의 면적을 작게 하며, 낮은 유속을 얻기 위해서는 슬롯의 너비나 입기 파이프의 면적을 크게 한다.



[그림 3-8] 입기의 여러 가지 예

이 외에도 [그림 3-9] e와 같이 다공성 천장 입기나 [그림 3-9] f의 재순환식 음압 환기 입기가 있으나, 다공성 천장 입기의 경우, 현장실증실험결과 의도하는 만큼 천공 유속이 나타나지 않으며, 재순환식 음압환기는 에너지의 절약과 난방에 유리하다는 장점을 가지고 있으나, 일교차가 심한 지역이나 먼지가 많은 계사에서는 이의 여과없이 재순환하는 것은 문제가 있어 보인다.

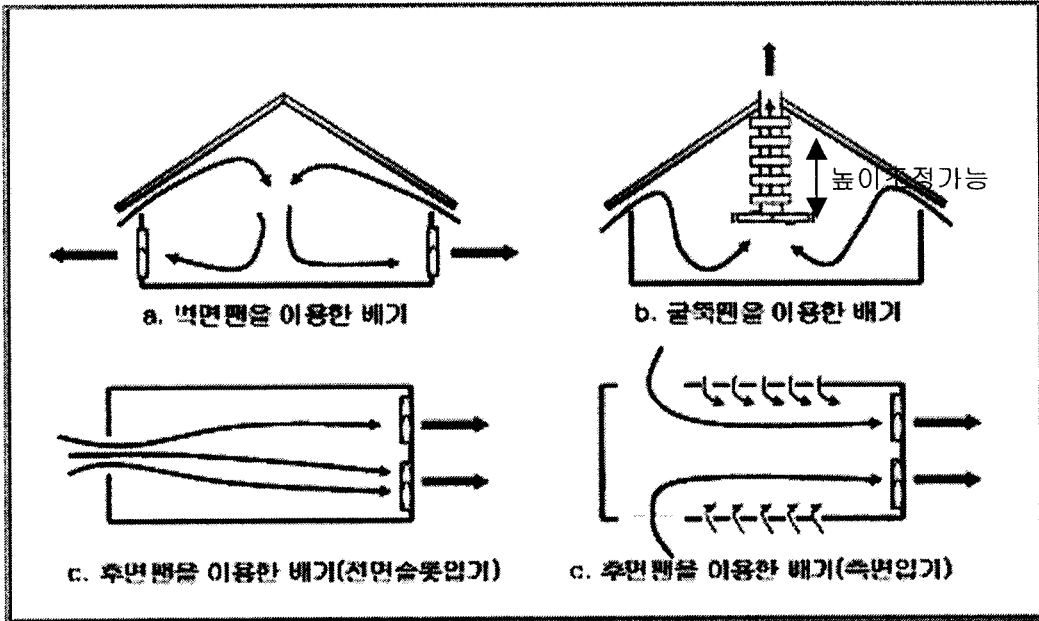


[그림 3-9] 계사에서의 입기의 방법

일반적으로 겨울철 환기가 원활하지 못한 경우라면, 더그매를 통한 박스형 입기가 유리하며, 여름철 환기가 원활하지 못한 경우라면, 강한 유속을 얻을 수 있는, 터널식 입기가 유리하다. 두 가지 양자의 장점을 취할 수 있는 입기 방법으로는, slot-inlet을 이용한 입기가 있으며, 입기 파이프를 이용한 방식은 실제 현장에서는 소요입기면적이 적거나 jet가 낙하하여 냉기류로 인한 호흡기 질병이 유발될 수 있으므로 설계에 유의해야 한다.

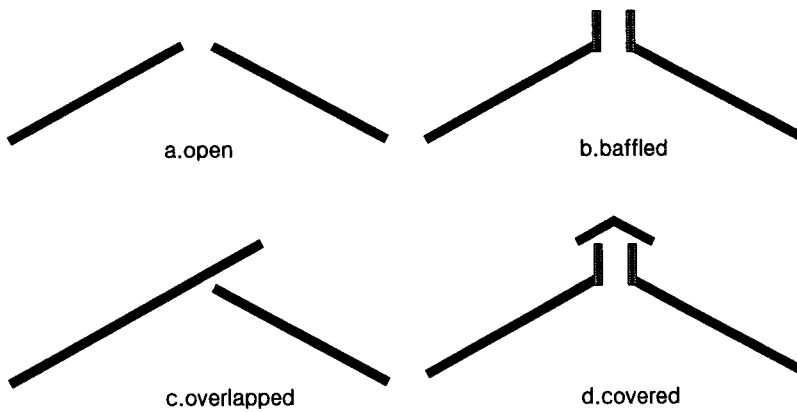
나) 배기

음압식 기계 배기시스템에서도 [그림 3-10]에서와 같이 a의 측벽배기팬, 특히 b의 하절기 상층부의 열집적을 막기위한 지붕팬, c의 전면 슬롯입기구를 통한 입기 후, 후면팬을 통한 배기, d의 측벽 슬롯을 통한 입기와 후면벽 배기팬을 통한 배기 등으로 나눌 수 있다. 우리나라 육계사의 겨울철 배기시스템은 [그림 3-10] b의 지붕팬을 사용하며, 여름철에는 [그림 3-10]d의 형태를 취한다.



<그림-8> 배기팬의 위치에 따른 환기 형태

[그림 3-10]d의 후면배기팬을 이용한 배기시스템은 강한 유속을 얻을 수 있으며, 그 제어가 용이하다는 점 때문에 우리나라에서 자주 쓰이는 방법이며, 대부분의 계사에 서, 여름철 환기 방식으로 채택하고 있다. 그러나, 길이가 긴 계사의 경우 후면 가속이 일어나, 분진이나 열이 집적될 가능성이 높다.



[그림 3-11] 용마루 배기구의 형태

우리나라 육계사는 굴뚝팬(chimney fan)을 주로 겨울철 배기팬으로 사용하는 데, 계사 지붕의 용마루에 장착되어 기본적으로 측벽의 slot inlet이나 파이프 입기관을 통해 입기된 공기를 배기한다. 높이 조절이 가능한 굴뚝팬을 높게 장착할 경우, 계사 하부공기의 배기(排氣)가 힘들며, 굴뚝팬의 위치가 높을 경우 측사 상부에 오염된 공기가 집적되어, 환기가 어려우므로, 겨울철 말고는 뚜렷한 장점을 가지지 않는다. 벽면팬을 이용하는 방법은 입기형태에 큰 구애를 받지 않고, 계사 내부의 공기 유동이 간단하여, 제어하기가 쉬우며, 위치 설정 역시 일정한 간격을 따르므로, 설계가 용이하다는 장점을 가진다. 자연환기나 양압식 기계환기의 배기는 지붕의 용마루 모니터를 이용하게 되는데 용마루 모니터의 형태는 [그림 3-11]과 같다.

3. 육계사 공기유동 해석을 위한 이론

육계사 공기유동을 모사하기 위한 질량보전의 법칙 및 운동량, 에너지보전법칙을 연계하여 푸어야 한다. 이를 위한 지배방정식은 다음 식과 같으며, 이를 FVM (finite volume, methods)로 이산화(discretized) 방정식화하여 풀었다.

가. 지배 방정식

Continuity equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

Momentum equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

Turbulent kinetic energy equation

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j} + G - \rho \varepsilon$$

Turbulent kinetic energy dissipation equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + \frac{\varepsilon}{k}(C_1 G - C_2 \rho \varepsilon) - \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \cdot \frac{\rho \varepsilon^2}{k}$$

Energy equation;

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho C_p u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k + \frac{\mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + Q$$

Concentration equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j C) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{Sc} \right) \frac{\partial C}{\partial x_j} + S_c$$

where,
$$\tau_{ij} = -(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$G = 2\mu_t S_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$\eta = S \frac{\varepsilon}{k}$$

$$C_1 = 1.42, C_2 = 1.68, C_\mu = 0.085,$$

$$\sigma_k = 0.719, \sigma_\varepsilon = 0.719, \eta_o = 4.38, \beta = 0.012$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad S = \sqrt{(2S_{ij}S_{ij})}, \quad , Sc = \text{Schmidt number}$$

$$S_c = S_{CO} \text{ or } S_{NOx} \text{ or } S_{Soot}$$

나. 지배 방정식

본 연구에서 사용한 상용프로그램은 PHOENICS는 영국의 CHAM(Computation Heat and Momentum)사에서 만든 상용 CFD (Computational Fluid Dynamics)유체 유동 시뮬레이션 프로그램이다. 유동 및 열전달과 관련된 모든 문제를 다룰 수 있으며 그 정확성은 널리 검증되었다.

1) PHOENICS 구조

다른 상용 CFD프로그램처럼 Pre, Main, Post의 3부분으로 구성되어 있다. Pre-Processor에 해당하는 SATELLITE와 VR-Editor를 이용하여 해석하고자 하는 모델에 대한 모든 정보를 입력하고 Main에 해당하는 EARTH를 통하여 해를 구한 후 Post-Processor에 해당하는 PHOTON과 VR-Viewer로 결과를 확인하며 AUTO PLOT으로 graph 처리한다.

2) 해석 모델링

Phoenics의 상용프로그램에서 다룰 수 있는 해석상 특성은 다음과 같다.

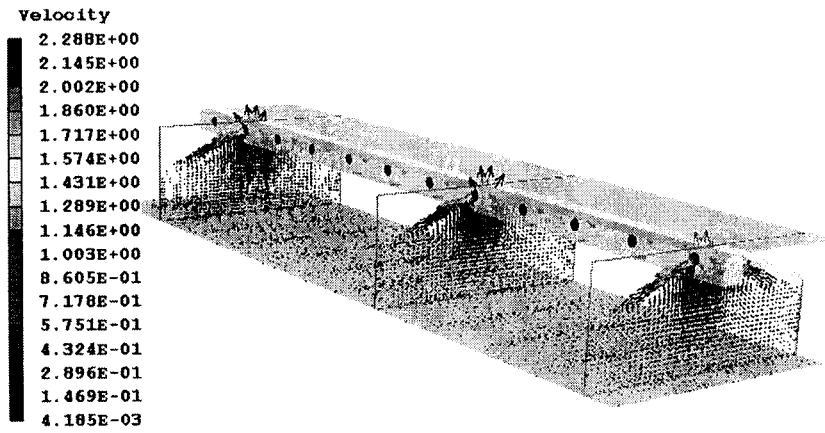
- 3차원 문제
- 定常(steady-state) 상태 및 비정상(unsteady-state) 상태 문제
- 직교좌표계(cartesian), 원통좌표계(cylindrical) 및 극좌표계 (polar)문제
- 비직교(Body fitted coordintes) 및 Moving grid를 포함한 일반 좌표계, 회전좌표계 문제
- 압축성 및 비압축성 유동
- 뉴턴 및 비뉴턴 유체 유동
- 아음속(subsonic), 천음속, 초음속(supersonic) 유동
- 대류, 전도, 복사 열전달을 포함한 유동
- 다공성 물질(Porous Media)내의 유동
- Multi-Phase 유동

3) 수치해석 특징

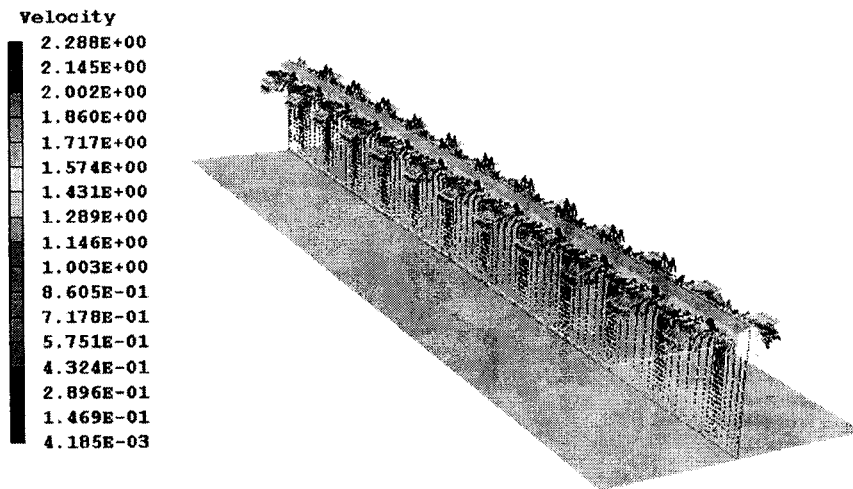
PHOENICS는 기본적으로 구조유한체적법(FVM, Finite Volume Method) 적용하며, 수렴성을 향상시킨 SIMPLEST 알고리즘(algorithm)을 사용한다. Linear and Non-linear equation Solver 선택하며, 다양한 Two-Phase 해석 알고리즘 선택, 다양한 압력-속도 System 사용하여 문제를 해석한다.

다. 연구의 결과

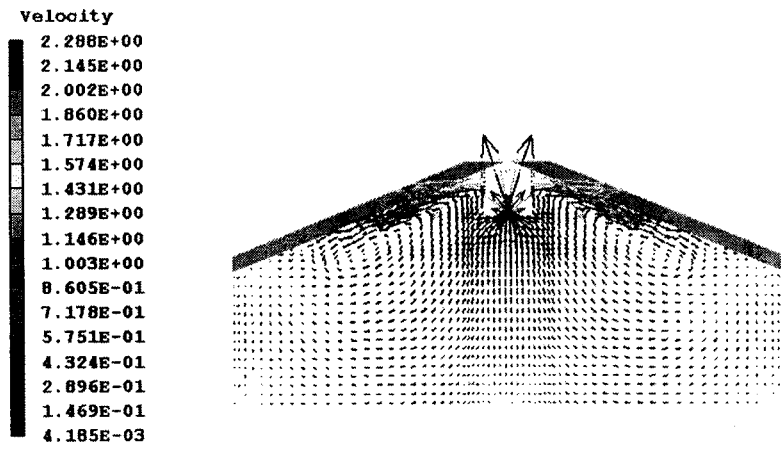
1) [그림 3-12] 모형계사의 속도 vector simulation 분포도



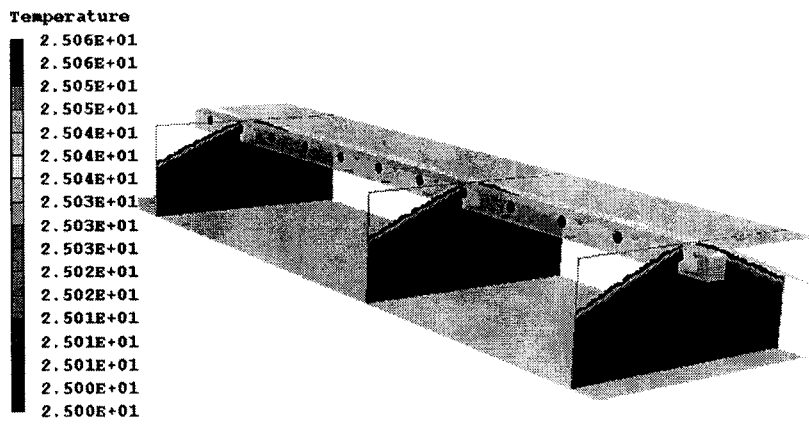
2) [그림 3-13] 모형계사의 속도 3-D simulation 분포도



3) [그림 3-14] 모형계사의 속도 3-D simulation 분포도



4) [그림 3-15] 모형계사의 확대 온도 simulation 분포도



5) [그림 3-16] 모형계사의 속도 3-D simulation 분포도



제 3 절 제어논리개발

1. 제어논리개발을 위한 환경변수

가. 물리적 환경변수의 선정

1) 건구온도(t_{db} : Dry Bulb Temperature) : 건구온도는 생체의 대사에너지 손실에 가장 큰 영향을 미치는 변수로서, 생체의 주위환경의 건구 온도에 따라, 대사손실, 수분손실, 수정장애 등이 일어날 수 있다. 건구온도의 설정에서, 가장 중요한 사항은 육계의 생체에 가장 적합한 온도를 설정하는 것인데, 육계의 생체에 적정온도는 [표 3-2]와 같다.

2) 상대습도 (Relative Humidity) : 상대습도는 공기의 질(質)에 큰 영향을 미치는 변수로서, 습도가 지나치게 낮을 경우, 바이러스성 질병이 발생할 확률이 높아지고, 습도가 지나치게 높을 경우, 박테리아성 질병의 발생확률이 높아진다. 그러므로 육계의 생산환경에서 [표 3-9]와 같이, 하한~상한값을 40~75%로 적정습도 범위로 설정하였다.

3) 유속 (air velocity) : 유속은 체감온도의 주 요인으로, 특히 하절(夏節) 육계의 스트레스에 의한 생산성 저하 및 폐사의 발생을 억제하기 위해서는 적정 유속을 발생시키므로써 체감(體感)온도를 극대화할 수 있다. 그러나 동절(冬節), 유속의 과다하면 냉기류로 인한 육계의 대사에너지 손실이 커지므로 공기유동형태를 유지하면서 유속을 최소화하는 것은 환기효율면에서 매우 중요하다. 실제 온도와 체감온도의 관계식 (6)과 같으며, 적정유속은 계절에 따라 다르나, [표 3-9]를 참조할 수 있다. 다만 경험적으로 겨울 0.3m/s~여름 2.0m/s를 설정하였다.

나. 화학적 환경변수의 선택

화학적으로는 육계의 분뇨에서 발생하는 암모니아(NH_3)의 농도와 육계의 호흡에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) gas의 농도, 마지막으로 분진의 농도를 환경변수의 기준으로 설정하였다.

1) 암모니아(Ammonia) 농도 : 암모니아는 약취화합물로 분류되지는 않으나, 대표적

인 불쾌취지수로서, 육계사 내 암모니아농도가 너무 높은 경우, 생산성저하는 말할 것도 없거니와 불임의 원인이 되며, 작업자의 건강에도 악영향을 미친다. 그러므로 감응 센서가 발달하여 암모니아의 농도의 경시적 계측으로 계사의 공기질의 청정도를 판단할 수 있다. [표 3-9]에 제시한 바와 같이 암모니아 농도가 10ppm을 넘지 않도록 설정하였다.

2) 이산화탄소(Carbon Dioxide) : 이산화탄소는 냄새와 색깔이 없으며 공기보다 1.5배 무겁다. 가축의 CO₂ 발생은 동물의 열생산에 직접적으로 관련된다. 그러므로 CO₂ 발생은 동물의 체중, 사료 수준, 열환경 등에 영향을 받는다. 동물이 발생한 1리터의 CO₂는 24.6kJ의 평균 열손실(또는 생산)과 같다. 물론 [표 3-9]를 참고할 수 있으나, 일반적으로 육계사의 이산화탄소 농도의 3,000~5,000 ppm을 적정범위로 설정하였다.

3) 분진농도 (Particulate Matter) : 분진은 미생물 이동의 매개체이며, 또한 호흡계(respiratory system)에 영향을 미쳐 각종 호흡기 질환을 일으키므로 육계의 생산성에 악영향을 미친다. 또한, 작업자의 비강(nasal cavity)을 통해 폐 속으로 침투하여, 각종 호흡기성 질환 및 진폐증을 유발하기도 한다.

입자의 지름이 1 μ 보다 크고 150 μ 보다 적은 것을 먼지라고 분류한다. 煙霧는 지름이 1 μ 보다 작은 입자를 말하나 여기서는 공히 먼지로 분류하였다. 먼지 입자가 10 μ 보다 크면 停滯 공기에서는 가라 앉으며 확산되지 않는다. 10 μ 이하의 粒子는 확산되는 경향이 있으며 떠다닌다. 그러므로 流體動力學的(aerodynamic) 지름(粒子의 크기를 규정하는 데 사용되는)은 “任意粒子의 기하학적인 크기, 모양과 실제 밀도에 관계없이 같은 최종 침전 속도(settling velocity)를 가지는 단위 밀도의 가상球의 지름”이다. 분진의 농도가 육계의 생산성에 미치는 영향은 아직 뚜렷한 결과가 나와 있지 않으므로, 상한을 설정하여 그 수준을 넘지 않도록 설정하였다.

다. 생물학적 변수의 설정

1) 도체 체중 : 도체(屠體) 체중은 육계의 생산성을 한눈에 알아볼 수 있는 가장 대표적인 변수이므로 도체의 체중을 육계의 생산성의 지표로 설정하였다.

2) 사료 효율 : 계사 내부 환경이 사료의 섭취와 육계의 생산성과 어떠한 관계에 있는지 검증하기 위하여, 사료 효율을 통해 계사 내부의 환경에 따른 육계의 생산성을 확인하기 위해 사료 효율을 생물학적 변수로 설정하였다

2. 논리 제어 환경변수의 설정값

실험 계사의 환경은 사계절로 나누어 외부 건구온도, 상대습도, 풍속에 따른 계사 내부의 건구온도, 상대습도, 분진농도, NH₃의 농도의 계측을 기본으로 하였다. 계획된 논리제어에 따라, 자연환기시스템의 경우, 원치의 상하운동을 통해 환기량을 조절하는 것으로 계사내부의 환경변수를 조정하였고, 강제환기시스템의 경우, 후면 fan과 chimney fan, 가온기, 가습기를 사용하여, 적절한 환경의 변화에 따라, 자동제어가 구현되는지를 내부의 건구온도, 상대습도, 분진농도, NH₃의 농도라는 환경 변수의 변화를 통하여 살펴보았다.

설정환경변수의 설정 최적범위는 건구온도: $15^{\circ}\text{C} \leq T_i \leq 20^{\circ}\text{C}$, 상대습도: $65\% \leq W_i \leq 75\%$, 암모니아농도 : $\text{NH}_3 \leq 15\text{ppm}$, 먼지농도 $C_{\text{max}} \leq 0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이를 만족하는 환기율을 설정하기 위하여, 에너지와 질량 평형방정식을 정립하였다.

○ 열에너지 균형 방정식 :

$$\dot{V} = \frac{Q_s - \frac{A \Delta t}{R}}{1.0035 \rho_i \Delta t} \quad (3.20)$$

여기서, V : 환기율 (m^3/s)

q_s : 동물에서 발생하는 체열 (w)

A : 계사 피복면적 (m^2)

Δt : 외기온과 설정온도 간의 차 ($^{\circ}\text{C}$)

ρ_i : 계사 내부의 공기 밀도 (kg/m^3)

R : 계사 건축재의 총 열저항값 ($\text{m}^2\text{C}/\text{w}$)

○ 수분 균형 방정식 :

$$\dot{V} = \frac{m_{\text{animal}}}{\rho_i W_i - \rho_o W_o} \quad (3.21)$$

여기서, V : 환기량 (m^3/s)

m_{animal} : 동물이 발산하는 총 수분량 (g/s)

ρ_i : 계사 내부의 공기 밀도 (kg/m^3)

ρ_o : 계사 외부의 공기 밀도 (kg/m^3)

W_i : 계사 내부의 습도비

W_o : 계사 외부의 습도비

○ 암모니아 제거시간 방정식 :

$$T = \frac{(0.015\rho_i - \rho_i)V}{uA_v} \quad (3.22)$$

여기서, T : 팬 가동 시간 (초)
 ρ_i : 계사 내부의 공기밀도 (kg/m^3)
 A_v : 배기구의 면적 (m^2)
 u : 최대 허용 유속 (m/s)

식 (3.20)에 따라 육계의 체열에 따라 집적되는 열을 환기로 제거하는 방정식을 정립하여, 논리제어에 활용하였고, 식 (3.21)에 따라 육계에서 배출되는 수분의 양을 제어하는 식을 정립, 논리제어에 적용하였다. 여름의 경우는 최대환기율을 적용하기 때문에 사(舍) 내 암모니아의 집적이 큰 위험이 되지 않지만, 거의 최소환기로 운영되기 쉬운 겨울철 환기에서 암모니아의 집적이 위험 수위에 다다른 경우를 산정하여 최소한의 팬의 가동시간과 팬으로 배출되는 환기량을 식 (3.22)에 따라 설정하여, 규정하였다.

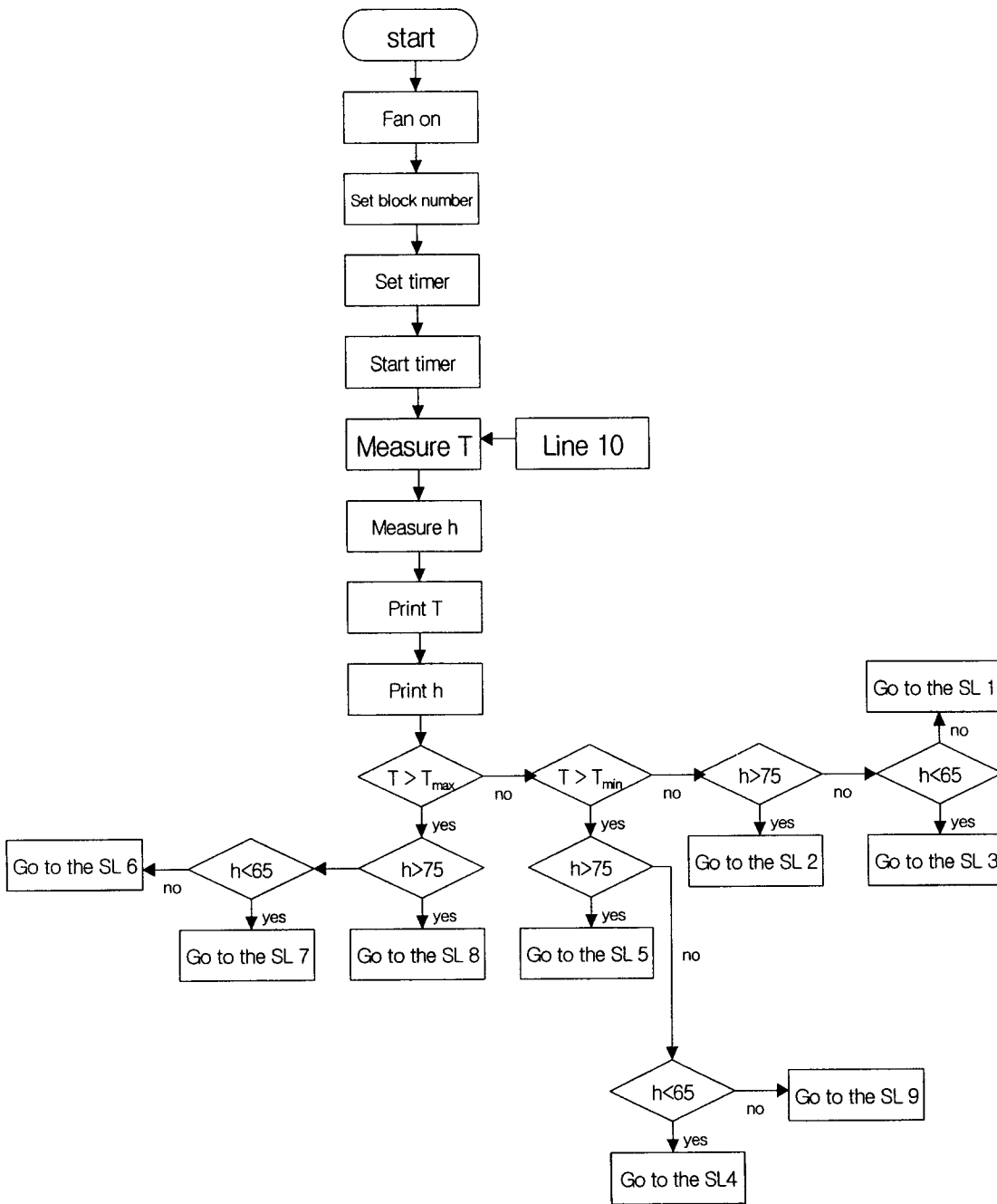
이에 따른 일시적인 계사 내부의 온도의 감소가 일어나지만, 계사 내부의 온도가 위험 수위에 이른 경우 즉시, 팬가동을 정지시키는 방법을 통하여, 혹한기 환기율이 위험수위에 이르지 않도록 조정하였다. 각각 dust와 CO₂가 위험 수위에 이른 경우와 기본적으로 암모니아와 마찬가지로의 형태의 식(3.22)와 비슷한 식으로 제어하게 되며 엔탈피 균형식h 새로운 개념으로 이를 개발할 수 있다. 건구온도와 상대습도를 환기를 통하여 동시에 조정하기 어려운 경우에 한하여, 계사 내부의 에너지 수위를 조정, 엔탈피의 양을 규정하여 그 기준에 따르도록 설정하였다.

3. 육계사 사육환경개선 제어 논리의 개발

위에서 정립한 식을 사용하여 육계의 사육에 최적화된 상태를 언제나 유지할 수 있도록 사육환경개선 제어 논리를 개발하여, 실험에 사용하였다. 제어논리는 1개의 main logic과 13개의 sub logic으로 구성되었으며, 각각의 외부환경과 내부환경에 실시간으로 대응할 수 있도록 설계되었다.

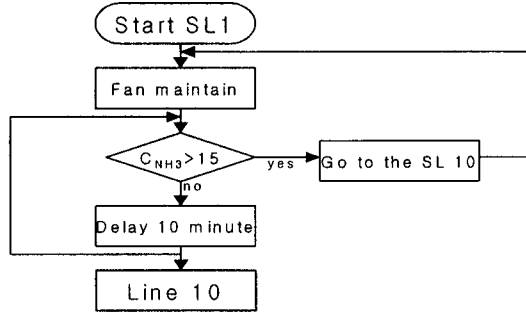
<표-1> 단위와 기호???

1) Main Logic



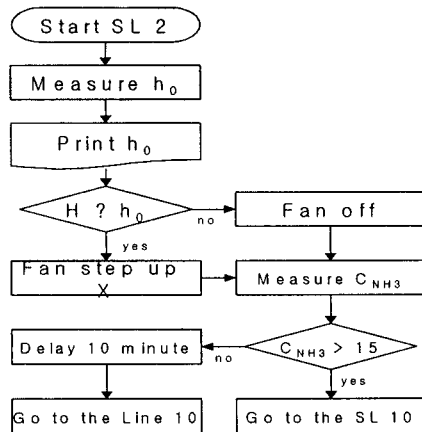
2) Sub Logic 1.

Sub Logic 1.은 온·습도의 수준이 적정수준에 머물러 있는 상태의 설정으로, 이 논리에서는 현 상태를 유지하게 된다.



3) Sub Logic 2

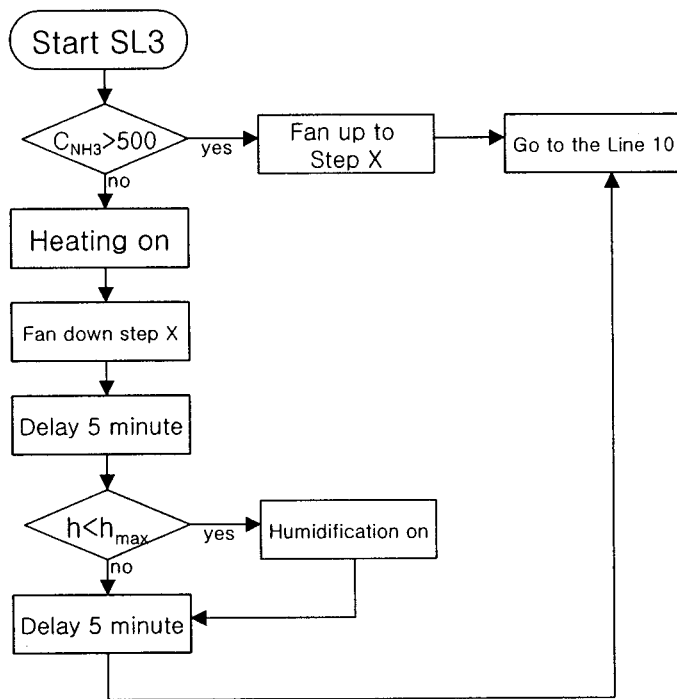
Sub Logic 2는 온도는 적정하나, 습도가 기준값을 상회하는 상태로 봄·가을에 비가와 상대습도가 상대적으로 높아진 상태에 대한 설정으로 계사 내부의 수분을 제거하기 위해 환기를 할 경우, 온도가 적정 수준보다, 떨어지는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우, 히터를 가동하는 것은 적절하지 못하며, 엔탈피의 양을 기준으로 환기량을 조절하여, 총 엔탈피의 양을 일정한 수준으로 유지하는 것을 목적으로 한다.



위의 경우, 기본적으로는 히터와 가습을 병행하지만, 히터가 설정온도의 상한선을 상회하게 되면 즉시 히터를 꺼주어야 한다. 또한,

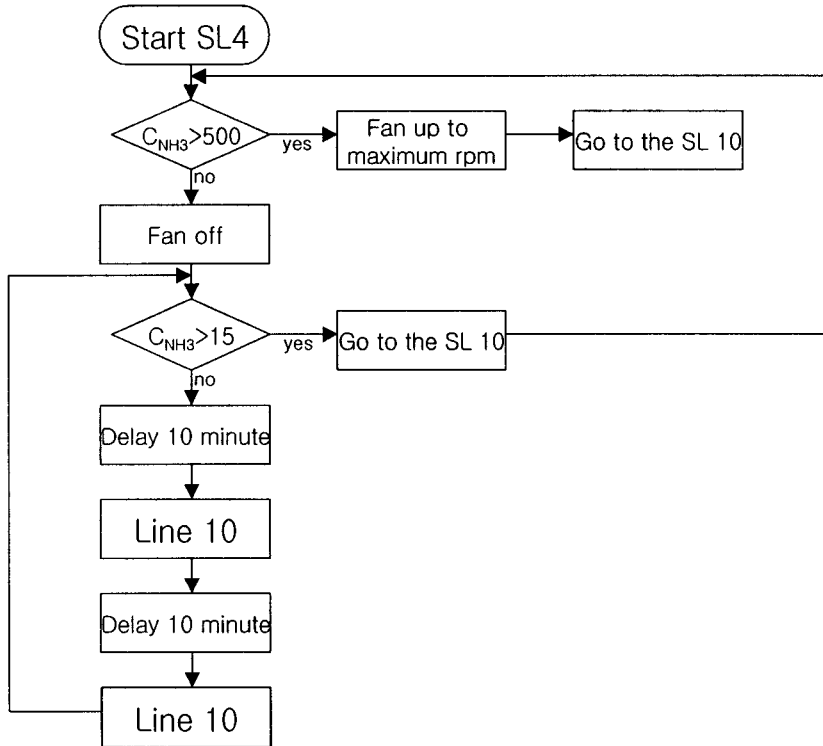
4) Sub Logic 3.

Sub Logic 3은 상대습도는 적절하나, 온도가 기준치에 미치지 못하는 경우의 설정이다. 이러한 경우, 히터를 사용해야 하며, 히터를 가동하였을 경우, 습도가 내려가 기준치에 미치지 못하는 경우가 발생하였을 때, 가습기를 통하여, 가습을 함께하는 것을 원칙으로 하였다.



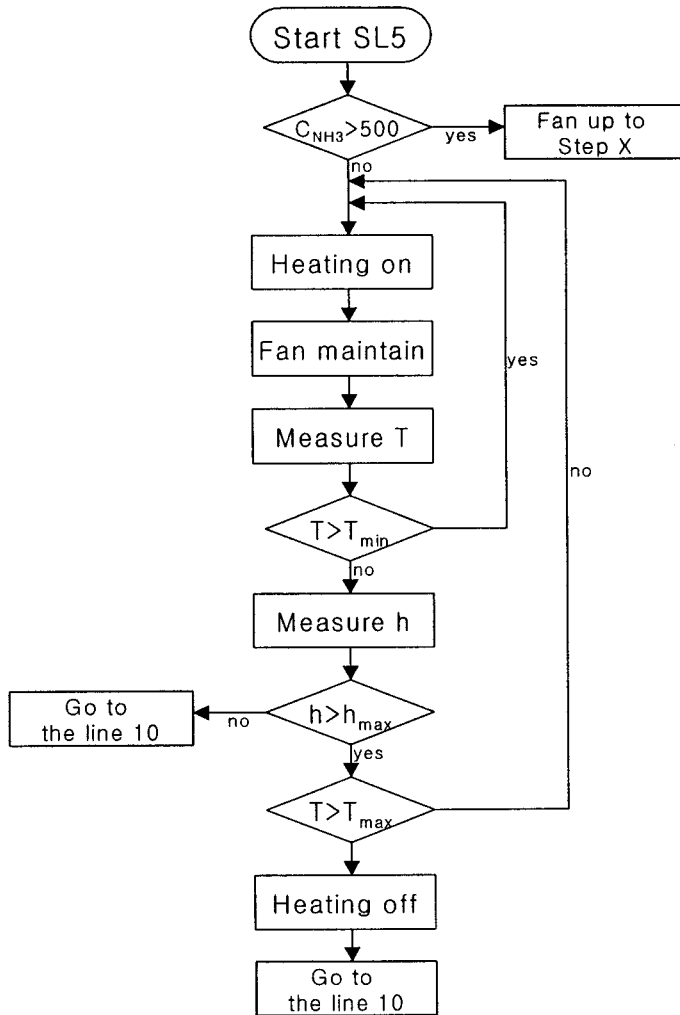
5) Sub Logic 4

Sub Logic 4의 경우는 온습도가 모두 기준치에 미치지 못하는 경우의 설정으로 히터와 가습기를 모두 가동하여 온습도를 적정수준으로 유지하는 것을 원칙으로 하였다.



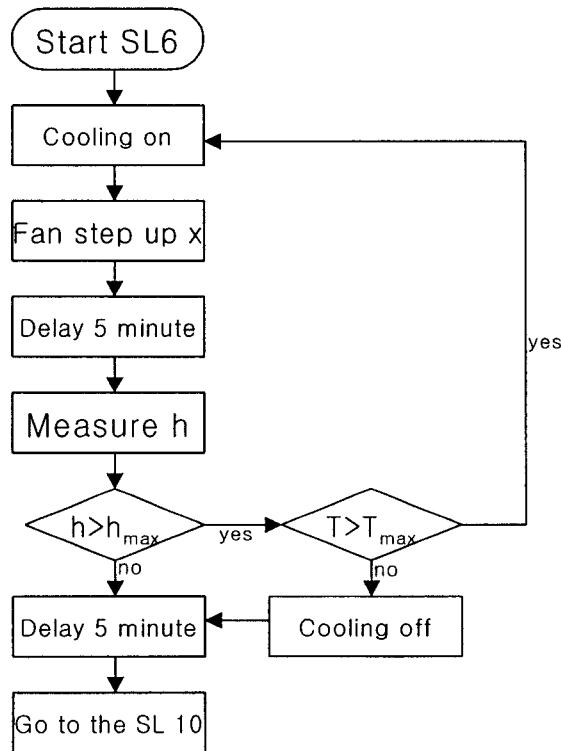
6) Sub Logic 5

Sub Logic 5의 경우는 온도는 적정값에 미치지 못하고, 습도는 적정치를 초과하는 경우로, 겨울철 눈이 온 경우에 해당한다. 이러한 경우 외부의 습도가 이미 적정 습도를 상회한다면, 환기에 의한 습도의 제거는 의미가 없으며, 오직 히터의 가동을 통해 온도는 적정 수준으로 높이고 습도는 제거하는 것을 원칙으로 하였다. 만약 두 가지를 모두 적정수준으로 유지할 수 없을 경우 온도에 우선 순위를 두어, 온도를 먼저 설정하는 것을 원칙으로 하였다.



7) Sub Logic 6

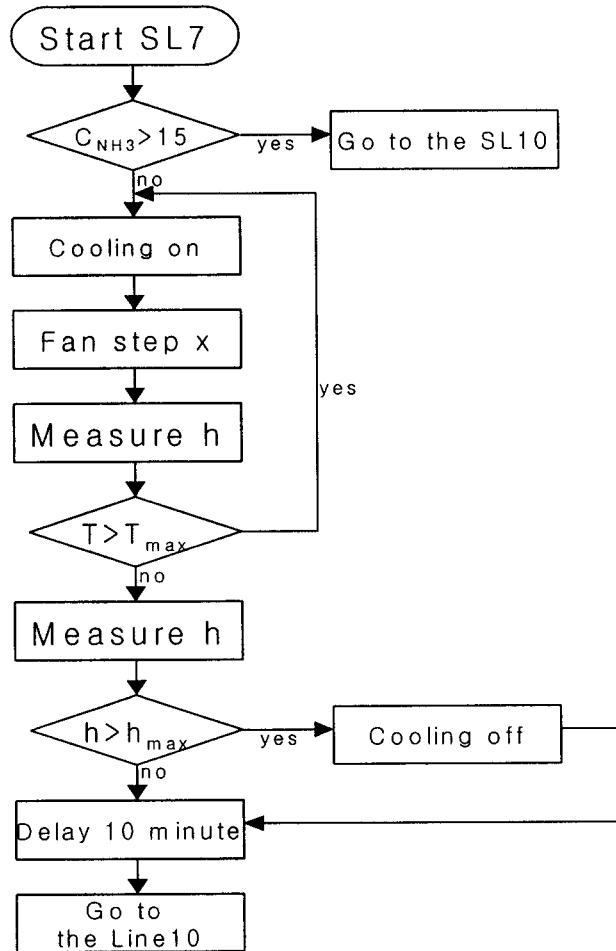
Sub Logic 6은 온도는 설정 수준을 넘어섰으나, 습도는 적절한 경우로 초여름에 해당한다. 이러한 경우, 외부의 기온이 설정온도를 상회할 때는 쿨링패드와 환기를 병행하여, 습도와 온도를 동시에 잡는 것을 원칙으로 한다. 만약 두가지를 동시에 병행할 수 없다면, 온도에 우선순위를 두어 제어하는 것을 원칙으로 하였다.



8) Sub Logic 7

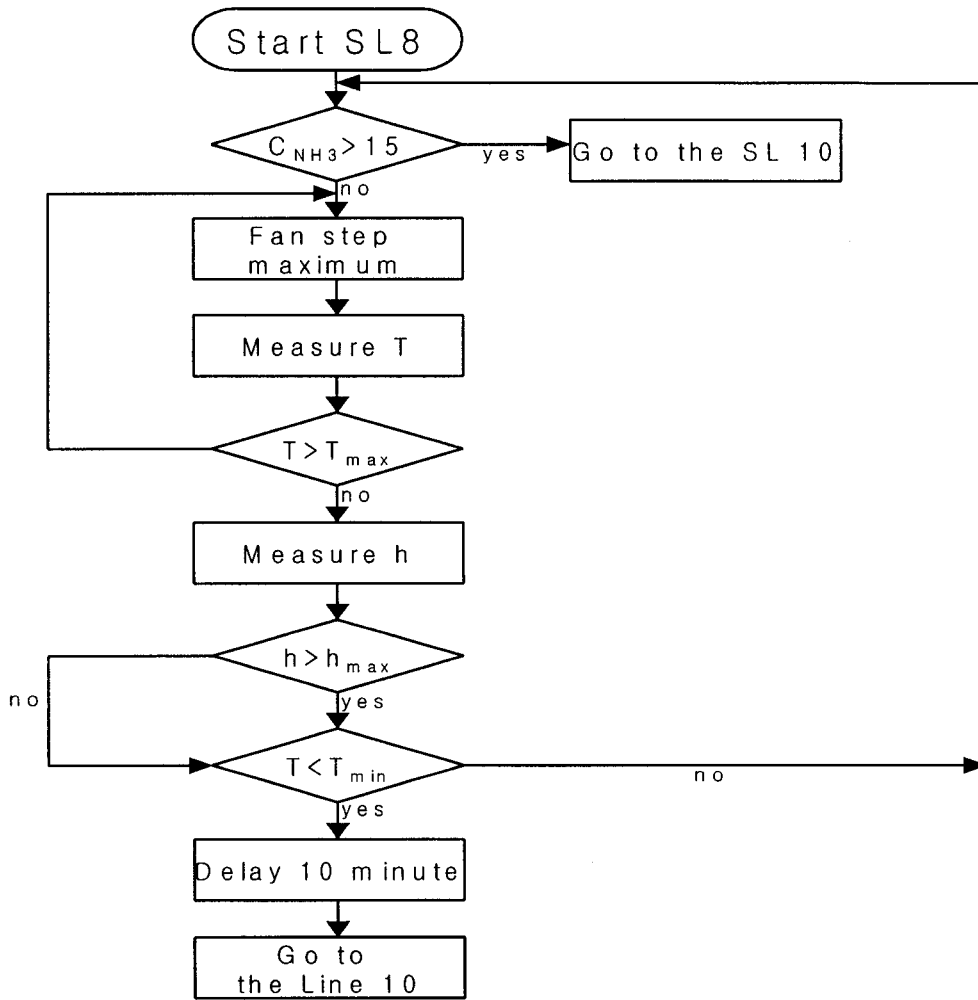
이 Sub Logic 7의 경우는 드물게 발생하는 경우로, 고온 건조한 상태의 설정이다. 경북 분지의 경우 발생하는 경우가 많으며 또는 도로에 바로 인접해 있을 경우, 아스팔트 복사열에 의해 생기기도 한다. 이러한 경우, 현열상태의 에너지를 증발 냉각의 원리를 이용하여 잠열을 보유한 수증기로 바꾸어 온도를 낮춘다. 다시말해, 쿨링패드 또는 수막시설을 이용한 냉방을 실시하며, 수증기가 지나치게 집적되는 것을 막기위해 환기를 실시한다. 만약에 현열의 비중이 커서 습도가 적정수준 이상임에도 불구하고

고 온도가 설정온도 수준에 미치지 못한다 하더라도 온도제어에 우선권을 두어 증발 건조시스템을 계속 가동한다.



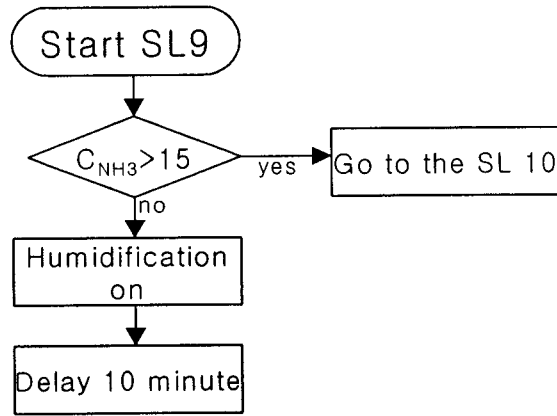
9) Sub Logic 8.

Sub Logic 8의 경우는 온습도가 모두 설정온도의 상한치를 상회하는 경우로, 일반적으로 우리나라 전국 대부분의 여름이 이에 해당한다고 볼 수 있다. 이러한 경우 증발냉각방식을 사용하면 1)효율이 낮아 제 역할을 할 수가 없고, 2)온도를 약간 떨어뜨린다 하더라도, 습도가 지나치게 높아져 실제 체감온도는 별로 떨어지지 않게 된다. 그러므로, 고온다습의 상황에서는 유속을 최대한으로 높여, 체감온도를 하강시켜야 하고, 온습도를 최대한 저감시켜야 한다.



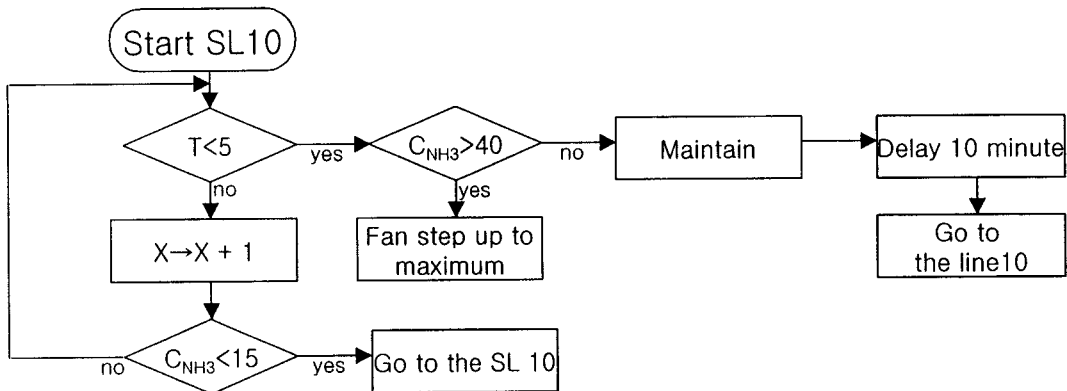
10) Sub Logic 9

Sub Logic 9.의 경우는 온도는 적절하나, 습도가 설정값의 하한치에 미치지 못하는 경우로, 현열은 그대로 두고, 습도만을 증가시켜야 하므로 가습기를 기동시켜야 한다. 적절한 목표습도가 될 경우, 가습기의 작동을 정지시켜 과습상태에 이르지 않도록 하는 것이 중요하다.



11) Sub Logic 10

Sub Logic 10은 암모니아의 농도가 위험수위에 다다른 경우의 환기 방식으로 육계의 호흡곤란을 막기 위해, 하한 치사 온도에 이르지 않는 경우, 환기함을 원칙으로 하였다. 다른 Sub Logic 과 다르게 이러한 경우, 일정 시간동안만 팬을 가동하게 되며, 겨울철에는 5℃ 이하(저온에 의해 육계의 생산성이 90%가 되는 지점)에서는 오직 최소환기만을 하도록 규정하였다.

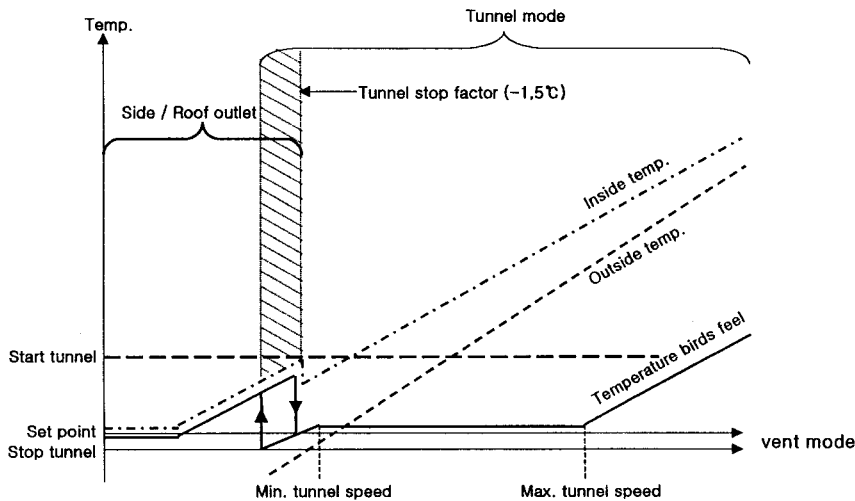


4. 제어논리 Coding 개념

1차년도 연구결과 무창계사 환경을 위한 제어논리와 이 논리를 구축(프로그램화)할 수 있는 AI(인공지능)도구에 대한 이론을 검토하였으며, 2차년도에는 이런 AI도구를 이용하여 실제 육계사 현장에 적용할 수 있는 제어판넬(IERS : Integrated Environmental Renovation System)의 환경제어논리를 개발하였다. 다음은 무창 육계사 내 ㉔ 터널키 및 이의 장치 (tunnel key and its facilities), ㉕ 온도키 및 이의 장치 (temperature and its facilities), ㉖ 습도키 및 이의 장치(humidity and its facilities), ㉗ 환기형태(ventilation and its facilities) ㉘ 냉각키 및 이의 장치 (cooling and its facilities), ㉙ 사육 및 이의 장치 (production key and its facilities) ㉚ 경고키 및 이의 장치 (alarm key and its facilities) 등의 개발 제어논리를 설명한다.

가. 터널키 및 이의 장치 (tunnel key and its facilities)

터널키(㉔)는 기본적으로 두 가지 환기모드(mode), 즉, 횡류(橫流, 이후 **TM: Tunnel Mode**)→종류(縱流, 이후 **SM: Side Mode**), 종류(縱流)→횡류(橫流) 등을 전환할 때 사용한다.

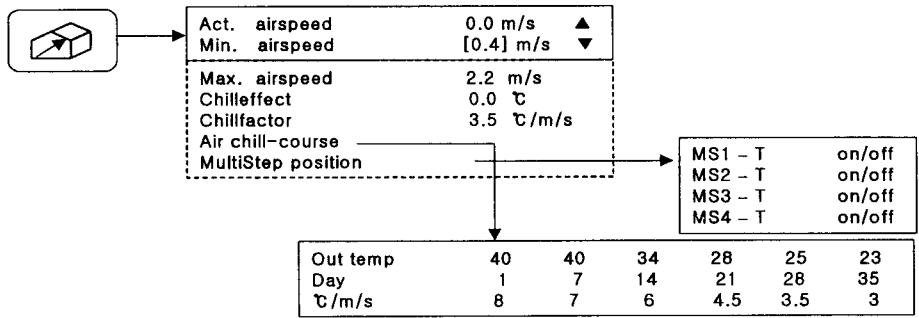


[그림 3-17] 종류(縱流-SM)환기와 횡류(橫流-TM) 환기시스템 전환논리

○ 제어논리 : [그림 3-17]에서 제시하였듯이 실내온이 증가하여 횡류환기(터널환기) 시발점에 이르면, 종류(縱流)환기(SM)를 위한 모든 측벽 slot 입기구와 지붕 굴뚝팬이 폐쇄되면서 횡류환기(TM)로 전환되며, 입기는 증발냉각패드를 통하여, 배기는

출구벽의 배기팬에 의하여 이루어진다. 지속적 TM가동으로 실내온도가 저하되어 TM→SM으로 전환되어 양측벽 slot inlets의 80%가 열리면 TM시스템은 폐쇄되기 시작한다. 【例-1】은 [그림 3-17]에서 나타낸 전환 logic을 근거로 종류(縱流)환기에서 횡류(橫流)환기로 전환해야 하는지 아니면 종류(縱流)환기에 머물러 있어야 하는지를 결정하는 논리를 예시(例示)한 것이다.

【例-1】



【例-2】

Sectional cross area		
Net :	[60.0 m ²]	Net cross area

Output 10 ³ m ³ /hr		
Nominal		150.0
Variable		13.8
MS1	MOTOR	13.8
MS2	MOTOR	27.6
MS3	MOTOR	55.2
MS4	MOTOR	110.4
MS1-T	AIR	35.0
MS2-T	AIR	70.0
MS3-T	AIR	140.0
MS4-T	AIR	280.0

} Capacity on tunnel outlets

위의 【例-1】의 환기모드 전환논리를 이해하기 위하여 필요한 전문용어(term)들을 다음과 같다.

㉠ **최소유속(minimum airspeed)** : TM에서 SM으로 복귀하기 前 최저허용유속 @TM으로, 횡적온도차를 최소로 유지하며 답에게 충분한 공기를 담보되는 유속을 말한다.

㉞ **최대유속 (maximum airspeed)** : 제어판넬(IERS)은 【例-2】의 경우, 식(3.23)에 의하여 최대유속을 산정한다.

$$\text{최대유속 } @TM = \text{Total capacity}/(\text{Net cross-sectional area} \times 3,600) \quad (3.23)$$

여기서, Total capacity = MS1-T + MS2-T + MS3-T + MS4-T, m³/hr

【例-2】의 무창 육계사 최대유속을 산정하면, Total capacity = 525 x 10³ m³/hr, 순 단면적은 60.0 m²이므로 식(3.23)에 의한 최대 유속은 525x 10³/ (60 x 3,600) = 2.43 m/s가 된다.

㉟ **냉각효과 (Chilleffect)** : 실제 유속과 냉각계수(chillfactor) 下에서 닭이 느끼는 유효온도 감소(effective temperature reduction)로 정의되며 식(2)와 같이 산정할 수 있다.

$$\text{Chilleffect, } ^\circ\text{C} = \text{Chillfactor } [^\circ\text{C}/(\text{m}/\text{sec})] \times \text{Air speed (m}/\text{sec}) \quad (3.24)$$

【例-2】의 Chillfactor 3^{°C}/m/s; Actual speed 1.5m/s일 경우, 식(2)에 의한 Chilleffect는 4.5^{°C}된다. 그러므로 무창계사의 실내온도가 25^{°C}이었다면 닭의 체감온도는 20.5^{°C}가 된다.

㊱ **냉각계수 (Chillfactor)** : 유속이 1m/s일 때 닭의 체감온도를 말하며 일령에 따라 다르며, air chill course에서 결정된다.

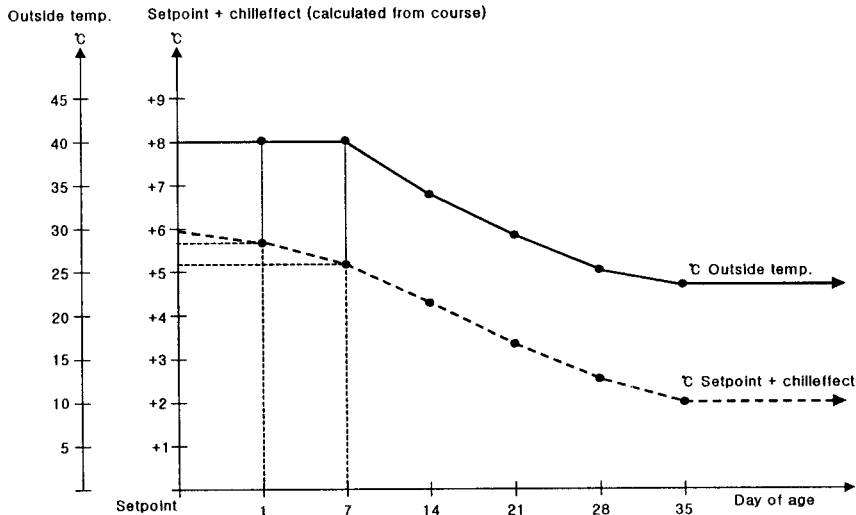
㉞ **Air chill course**

- Outside temp. : TM으로 전환되기 직전 온도
- 닭의 일령
- Chillfactor : 닭의 일령이 클수록 유속 덜 민감함.

Outside temp.	40	40	34	28	25	23
일령, Day	1	7	14	21	28	35
Chillfactor, ^{°C} /m/s	8	7	6	4.5	3.5	3

㊲ **SM→TM로의 전환**

chilleffect = chillfactor x start factor x minimum air speed의 정의와 같이 [그림 3-18]은 SM→TM으로 전환되기 전에 실내온이 설정온도보다 몇 ^{°C} 높아야 하는가? 최소 외기온은 얼마나 되어야 하는가를 예시한 상관도이다.



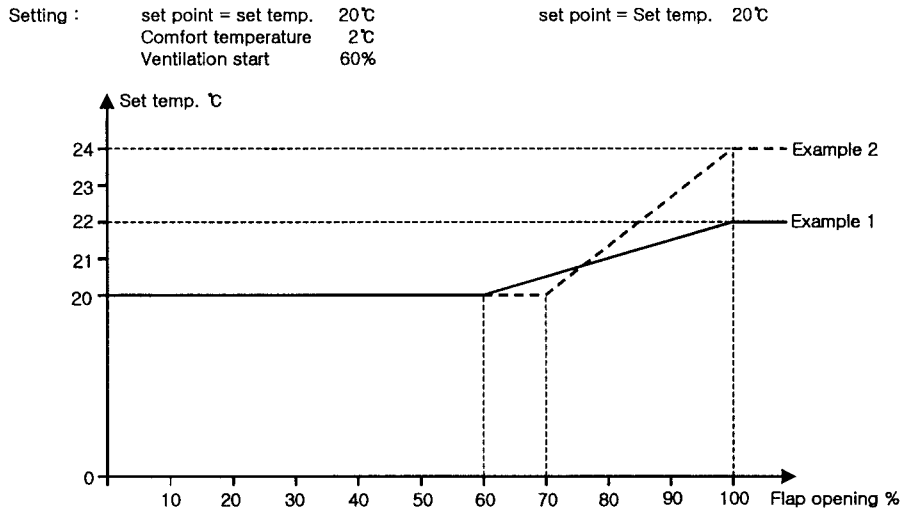
[그림 3-18] TM 전환모드 관계도

2. 온도키와 이의 장치 (Temperature key and its facilities)

온도키는 다음에 기술한 쾌적온도, 추가환기, 온도그래프(temperature graph) 등의 개념개발을 통합하여 온도제어논리를 개발하였으며, 이 논리를 온도키(☞)에 담았다.

㉠ **쾌적온도(Comfort temperature)** : 가축에게 유속증가로 인한 체열감소의 보상온도로 정의할 수 있으며 [그림 3-19]에서 【例-3】에서 설정온도 20℃에서, baffle에 의한 개방정도가 60%라 하면, 주간 외기온의 증가로 개방정도 100%로 점증(漸增)시킴으로써 설정온도 22℃까지 환기수준을 바꾸지 않으면서 가축의 체감온도는 20℃를 유지할 수 있다. 야간 외기온이 감소하면 서서히 개방정도를 60%로 감소시켜 설정온도 20℃로 복귀시키다(example 1). example2에서 제시한대로 설정온도 20℃에서, baffle에 의한 개방정도가 70%라 하면, 주간 외기온의 증가로 개방정도 100%로 점증(漸增)시킴으로써 설정온도 24℃까지 환기수준을 바꾸지 않으면서 가축의 체감온도는 20℃를 유지할 수 있다. 이는 급작스런 환기율 증가로 인한 draft를 감소시키기 위함이다. 이 기능은 SM(Side Mode)에서만 작동하게 한 기능이며, TM에서는 작동하지 않는다.

【例-3】



[그림 3-19] SM에서의 쾌적온도개념 논리도

㉞ 추가환기(extra ventilation) : 추가환기는 기본적으로 SM에서 작동되며 【例-4】에서 제시한대로 前, 後 공간 공히 적용할 수 있다. 추가환기율에 대한 단계적 제어 가능조합(combination)은 [표 -55]과 같다.

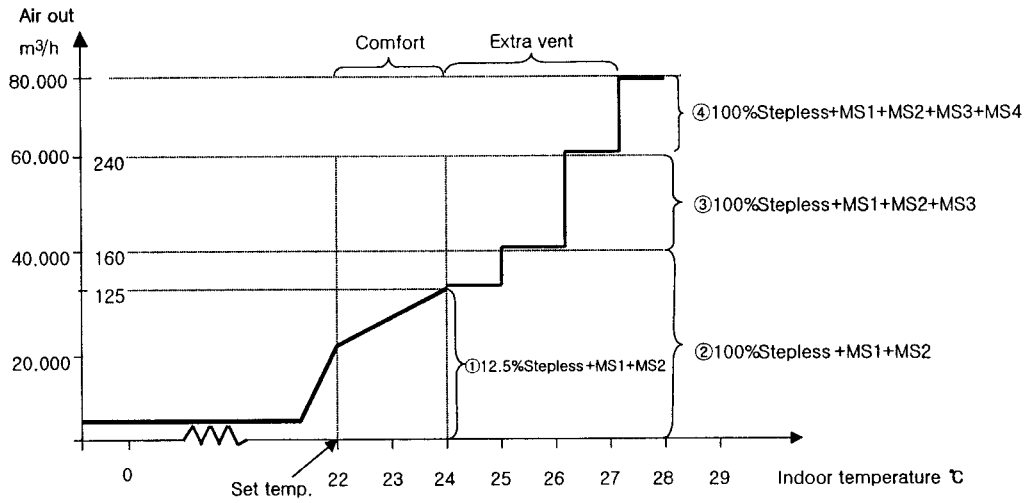
【例-4】

Nominal ,10 ³ CMH 25	Negative pressure adjustment										
Stepless 10	Output ,%	0	8	15	30	40	50	65	85	100	125
MS1 10	Flap 1 ,%	0	15	19	35	40	50	60	65	70	100
MS2 10	Extra vent. 3℃										
MS3 10											
MS4 10											

[표 3-18] 단계별 환기율 설정논리

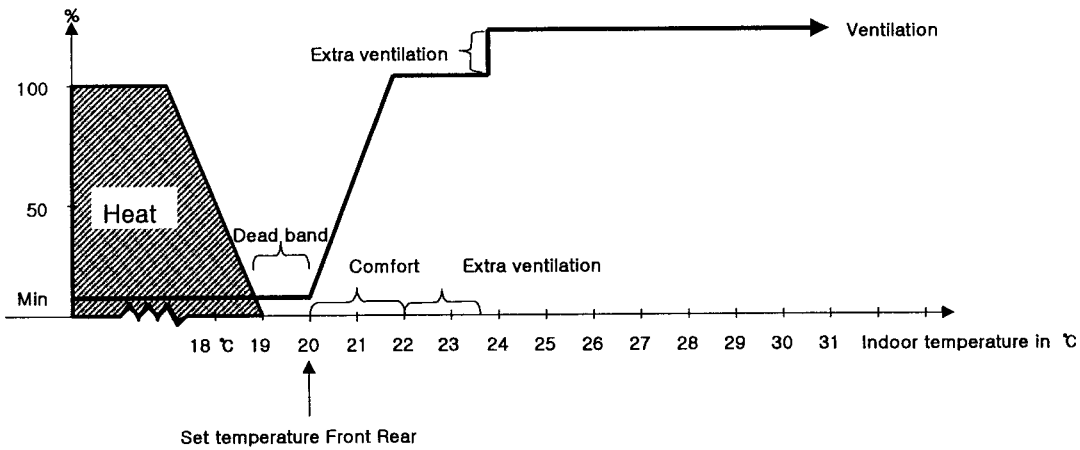
운영전략	수식	환기율
① stepless part+0.0℃	12.5%stepless+MS1+MS2	31,250 m ³ /hour = 125%
② ①+the rest of the run+1.0℃	100% stepless+MS1+MS2	40,000 CMH =160%
③ ②+next step+2.0℃	100% stepless+MS1+MS2+MS3	60,000 CMH =240%
④ ③+next step+3.0℃	100%stepless+MS1+MS2+MS3+MS4	80,000 CMH =320%

Settings: Set temperature = 22 ℃
 Comfort temperature = 2 ℃
 Extra ventilation = 3 ℃
 Start ventilation = 60%



[그림 3-19] 4단계 추가환기를 적용 논리도

Set temperature = set point 20 ℃ Set temperature = set point 20 ℃
 Set comfort temperature 2.0 ℃
 Set extra ventilation 1.5 ℃
 Set dead band 1.0 ℃



[그림 3-20] 1단계 추가환기를 적용 논리도

㉔ SM의 제어기능 : 무창계사의 실내온도를 적정범위로 유지하기 위해서는 【例-5】의 실내환경조건일 경우, 필요 시 가온도 해야 하므로 실내온의 범위에 따른 가온-환기전략은 [그림 3-20]과 같다.

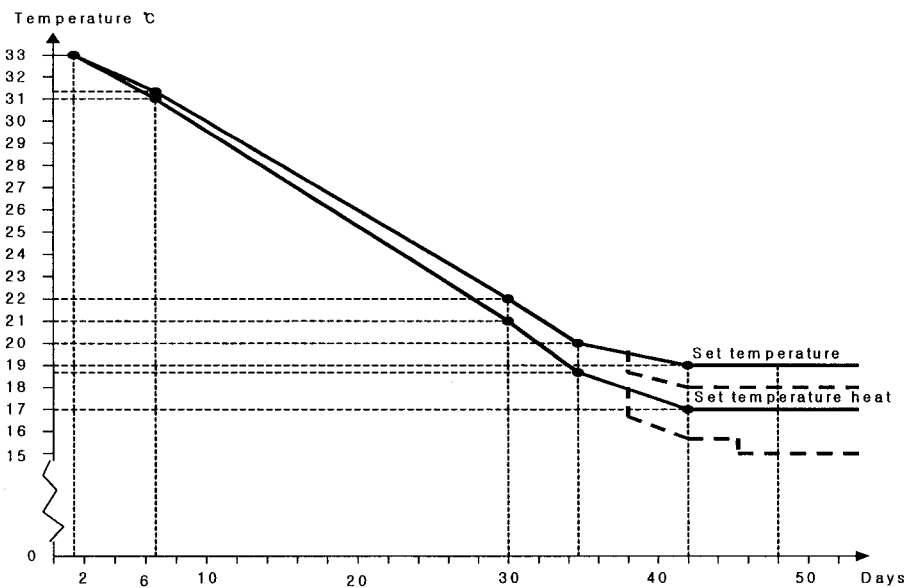
【例-5】

㉕ 일령에 따른 환기율 조정 : 닭의 경우 일령에 따라 환기율을 달리할 필요성이 있으므로 [표 3-19]와 【例-6】에서 제시한 바와 같이 조정할 수 있다. 즉, 입추 첫 3일은 30℃ (29.5℃ 이하 시 加溫), 일주일부터 28℃ (29.5℃ 이하), 2주령부터 26℃ (25.0℃ 이하), 6주령부터 22℃ (29.5℃ 이하)을 출하할 때까지 유지한다. 이 schedule을 그림화한 것은 [그림 3-22]와 같다.

[표-56] 닭의 일령에 따른 설정온도

day	3	7	14	42	43	48
set temp	30.0	28.0	26.0	22.0	22.0	22.0
heat temp	29.5	27.5	25.0	20.0	20.0	20.0

【例-6】

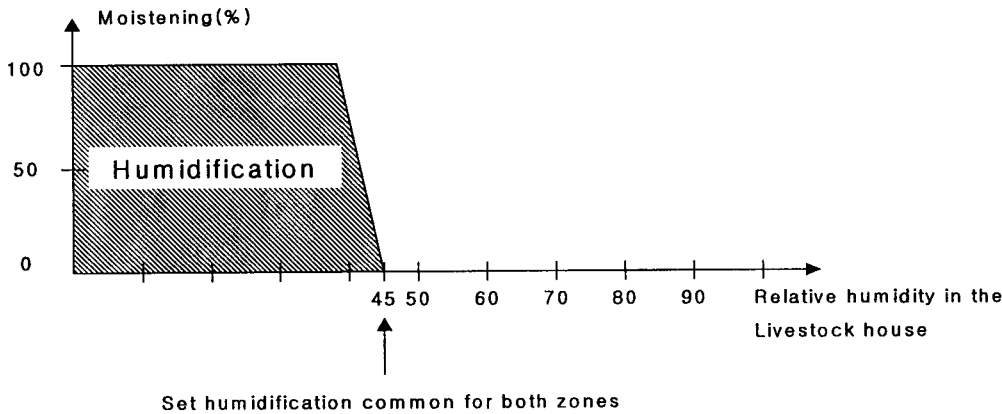


[그림 3-22] 닭의 일령을 고려한 실내온도 설정논리

3. 습도키와 이의 장치 (Humidity key and its facilities)

습도키는 다음에 기술한 가습(加濕化, humidification), 습도를 위한 환기, 습도에 의한 가습과 열제어, 습도그래프(humidity graph) 등의 개념개발을 통합하여 습도제어 논리를 개발하였으며, 이 논리를 습도키()에 담았다.

㉠ 가습화(Humidification) : [그림 3-23]과 같이 설정습도가 45% 이하이면 가습해야 하나 온도를 고려해야 한다. 만약 온도가 설정온도보다 3℃ 이상 낮으면 가습을 중단해야 하며, 2℃보다 낮을 경우, 가습을 감소시켜야 한다. 왜냐하면 가습이 저온에서 일어나면 체감온도하강은 실제 온도하강보다 더 크기 때문이다,



[그림 3-23] 가습대(加濕帶)

㉡ 습도제어를 위한 환기 : 【例-7】의 환경조건에서 [그림 3-24]와 같이 설정습도가 60%일 경우, 실내습도가 60% 이상되면 환기시스템 작동된다. 그러면 습도는 설정범위대를 유지하나 온도는 설정온도 이하로 떨어질 수 있으며, 이럴 경우, 난방시스템이 작동되어 가온(加溫)된다. 이 논리는 [그림 2-24]에서 가시화하였다.

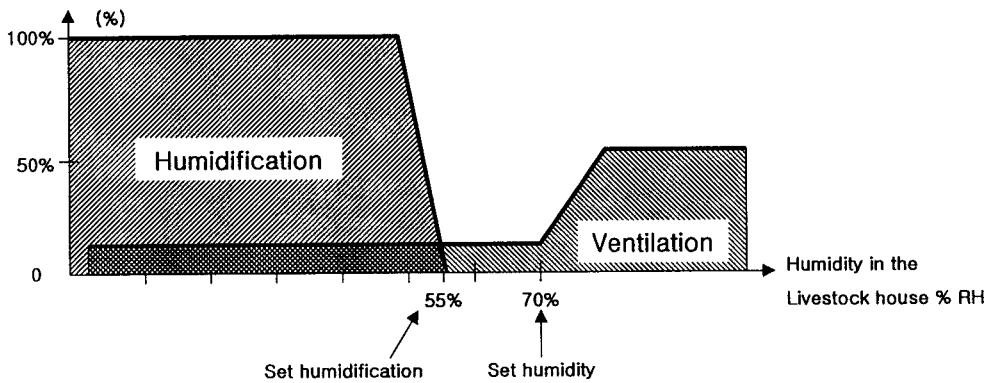
㉢ 습도제어를 위한 환기 및 가온(加溫) : 【例-8】의 환경조건에서, 가온scheme을 포함시킬 경우, [그림 3-25]와 같이 설정습도가 80%이며, 가습을 위한 설정습도가 55%라면 감습(減濕), 가습(加濕)과 환기율과의 관계논리는 다음과 같다. :

- 만약 실내습도가 55% 이하라면, 가습시스템이 작동한다.
- 실내습도가 70% 이상에 이르면 습도환기는 後(rear)공간부터 작동한다.
- 실내습도가 80% 이상이면 前(front)공간에도 가동한다.
- 만약 배기구가 단일공간개념으로 설계되었다면, 습도환기는 70%에서 전후 공간 공히 작동한다.

㉔ 가습화(humidification)와 습도환기 간 상호전략 : 지속적으로 환기율이 변하는 것을 피하기 위하여 【例-9】의 환경조건에서 가습화와 환기를 이용한 습도제어를 위한 설정습도 간의 습도차는 최소한 5%는 있어야 한다. 만약 실내습도비가 55% 이하면 가습시스템이 작동하며, 실내 습도비가 70% 이상이면 환기율은 증가된다.;

【例-9】

“Humidity control ON” under the humidity key
 “Heat supply ON” under the temperature key
 Set humidity = 70%
 Min. Ventilation = 8%
 Set humidification = 55%



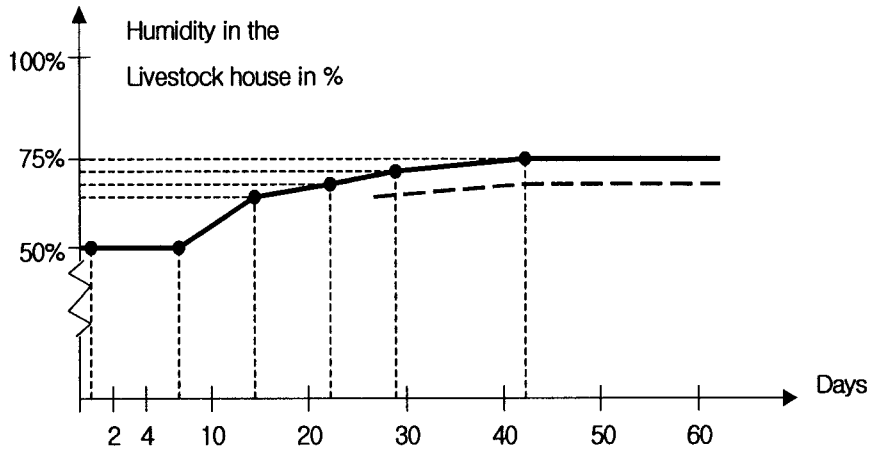
[그림 3-26] 습도제어와 환기전략 논리

㉔ 습도 curve : 【例-10】의 [표 3-20]과 같이 닭의 일령에 따라 습도를 자동적으로 조절한다. [그림 3-27]에서 보듯이 일령28일 이후부터 설정습도를 5% 정도 낮게 한다. 만약 1 batch 동안 설정습도가 변화한다면, [그림 3-27]에서 제시한 대로 실내 습도는 같은 율로 평행하게 변한다.

【例-10】

[표 3-20] 일령별 설정습도

day	1	7	14	21	28	42
습도	50	50	60	65	70	7



[그림 3-27] 일령별 설정습도

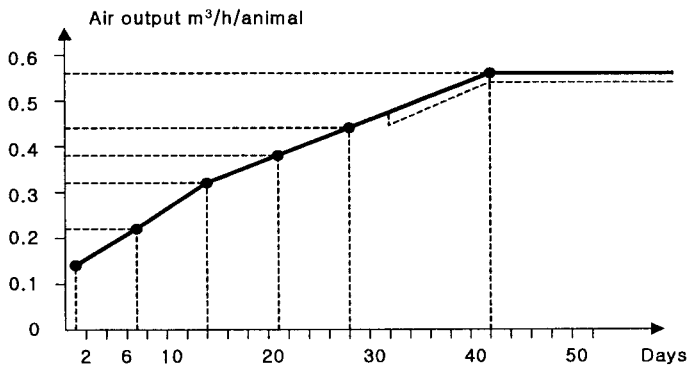
4. 환기키와 이의 장치 (Humidity key and its facilities)

환기키는 다음에 기술한 최소환기율, 최대환기율 등의 개념개발을 통합하여 습도 제어논리를 개발하여, 환기키(+)에 담았다.

【例-11】

[표 3-21] 일령에 따른 최소환기율, CMH

Day	0	4	8	15	29	36
Vent. rate	0.00	0.08	0.10	0.13	0.21	0.21



[그림 3-28] 일령에 따른 최소환기율

㉠ 최소환기율 : 최소환기율은 열악한 공기질을 보전하기 위함이다. 지속 최소환기

율은 전(全)환기율의 5~10%으로 고정시키며, 가변(可變)환기율을 작동시키지 않는다.

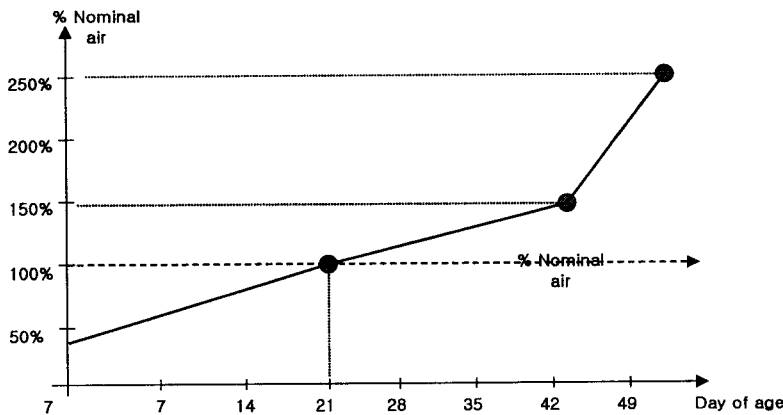
【例-11】의 [표 3-21]과 [그림 3-28]에서 제시한대로 한 batch 사육에서는 일령에 따라 최소환기율을 조정할 수 있다. 일령 32일에 최소환기율을 0.5CMH/bird로 바꾸면 일령에 따른 환기율은 감소율을 적용하여 원래 그래프에 평행하게 변화한다. 최소환기율 설정을 전, 후 사육공간에 따라 달리할 수 있다.

㉞ **최대환기율** : 최대환기율은 환기시스템의 최대출력을 의미하며, 【例-12】의 [표 3-22]에서 제시한 대로 SM에서 최소환기율 적용전략과 같은 전략을 적용한다. 이러한 환기전략은 외기온이 27~30℃ 이상되는 상대적으로 아열대성 기후 지역에서 닭은 일정 일령에 도달하기 전에 최대 환기율에 노출되지 않을 수 있다. 본 IERS에서는 기준환기율(nominal vent rate)을 100%라면 [그림 3-29]와 같이 최대환기율은 250%까지 작동할 수 있도록 하였으며 default 최대환기율은 100%로 설정하였다.

【例-12】

[표 3-22] 일령에 따른 환기율

Day, 일령	0	7	14	21	42	48
Vent.rate, %	40	60	80	100% nominal	150 (0.5↑)	250% (2.5↑)



[그림 3-30] 일령에 따른 환기율

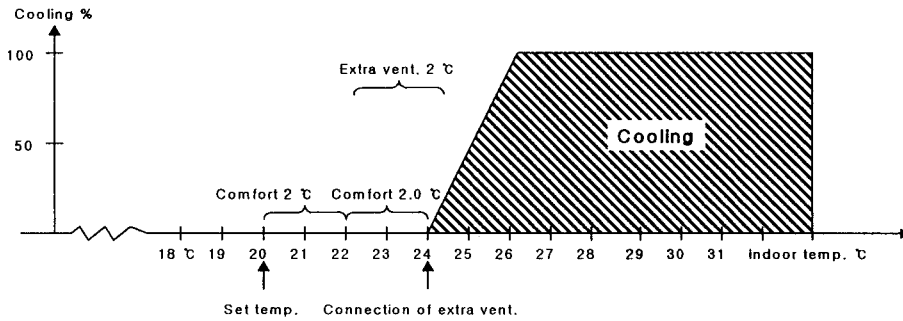
5. 냉각키와 이의 장치 (Cooling key and its facilities)

냉각키는 다음에 기술한 SM에서의 내부냉각, TM에서의 외부냉각(증발냉각시스템

-evaporative cooling system) 등의 개념개발을 통합하여 냉각습도제어논리를 개발하여, 냉각키(☒)에 담았다.

【例-13】

Set temperature =	20 ℃
Set comfort temperature =	2.0 ℃
Set extra ventilation =	2.0 ℃
Start cooling =	2.0 ℃
P-band cooling fixed value/setting of =	2.0 ℃
Stop cooling =	80 % RH



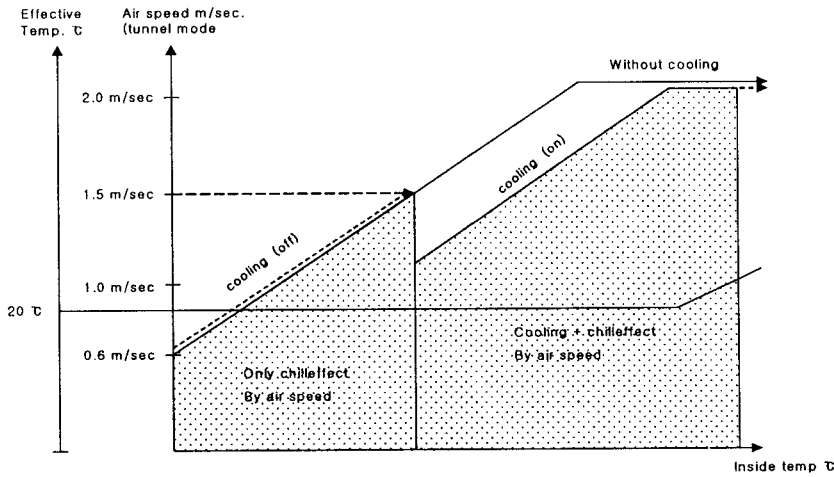
<그림-88> 냉각키 작동논리

㉑ **SM내부냉각** : 시스템의 추가환기 전이나 후에 냉각시스템을 가동시키는 것이 가능하다. 그러나 일반적으로 냉각전에 추가환기를 가동한다. 이럴 때는 물론 추가환기온도보다 냉각설정온도가 높아야 한다. 【例-13】의 환경조건에서 고온(高溫)다습(多濕)한 경우 답에게 매우 치명적이다. 그러므로 물론 기상대에 따라 다르지만 일반적으로 [그림 3-30]에서 제시한 논리대로 상대습도가 75~90% 정도로 설정점(stop cooling)을 지나면 냉각(冷却)은 차단되어야 한다.

㉒ **TM 외부냉각** : 유속의 증가와 냉각을 이용한 횡류(터널)식 냉각시스템으로 cooling pad에 의한 냉각이 작동되고, 내부온도가 떨어지면, 유속(流速)은 감소된다. 그러므로 유효온도는 여전히 설정점에 머무른다. 이는 chilleffect가 감소를 의미하며, 냉각효과(cooling effect)에 의하여 대체된다. 실내온이 증가하면 유속이 증가한다.


【例-14】에서 제시한 논리대로 외기온이 33.4℃, 패드온도 28.0℃, 냉각효율 5.4℃라면 고온(高溫)다습(多濕)한 경우 답에게 매우 치명적이다. 그러므로 물론 기상대에 따라 다르지만 일반적으로 상대습도가 75~90% 정도로 설정점(stop cooling)을 지나면 냉각(冷却)은 차단되어야 한다. 그러므로 냉각차단 유속은 (start cooling+min. air speed)/2로 결정한다.

【例-14】



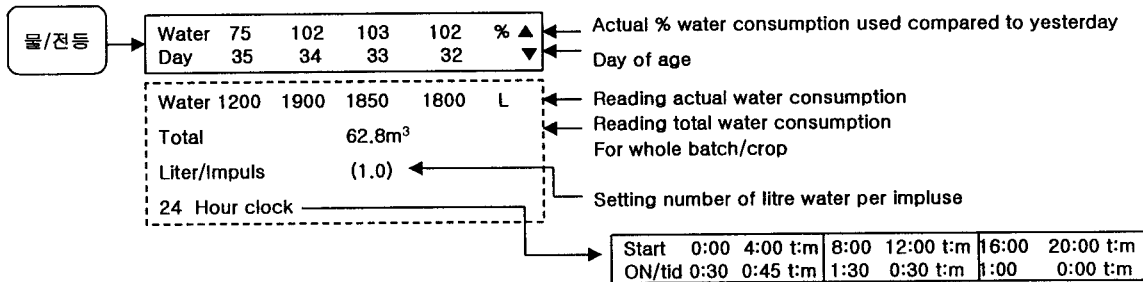
【그림 3-31】 냉각(cooling)작동개념 논리도

6. 飼養(물)키와 이의 장치 (Production key and its facilities)

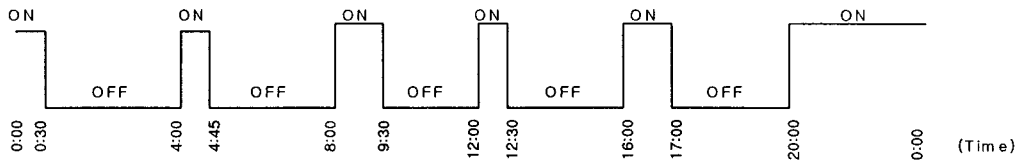
사육키는 다음에 기술한 급수, 급이, 전등 등의 개념개발을 통합하여 사양관리논리를 개발하여, 사양키 ()에 담았다.

㉠ 사양관리 : 하루 6번의 이러한 사양관리를 위하여 【例-15】의 환경에서 사양(급이, 급수, 광세기, 광 schedule 등)을 제어한다.

【例-15】




- Start : Time when relay should be activated
- ON/time : Time period, length of "ON" time.

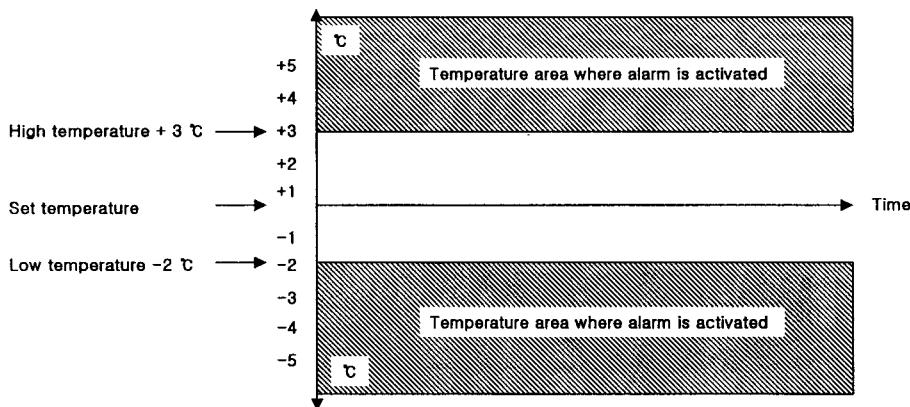


[그림 3-32] 6회/일 pulse형 작동개념

7. 경고(警告)키와 이의 장치 (Alarm key and its facilities)

경고키는 다음에 기술한 고온, 저온 경고, 경고선 차단, 경고 검토 등의 개념개발을 통합하여 경고관리논리를 개발하여, 경고키 ()에 담았다. [그림 3-33]과 같이 설정온도보다 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 경고음이 울리도록 단순설계할 수 있다.

【例-16】



[그림 3-33] 외기상의 보전없는 단순 경고 온도대

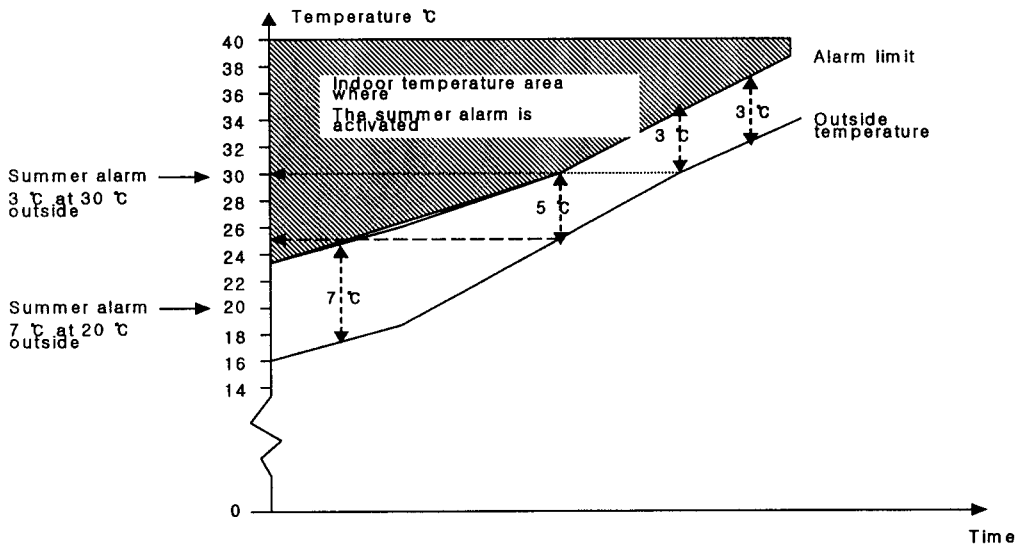
㉠ 하절고온 경고

여름철 외기온이 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 일 때 각각 경고 온도차는 $7^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다.

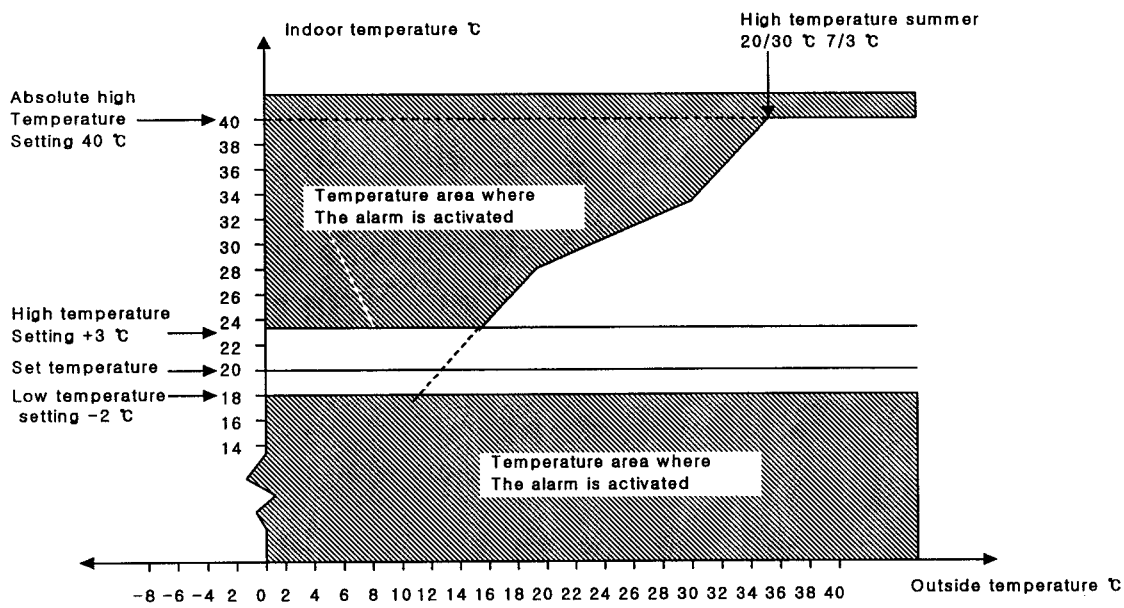
【例-17】의 [그림 3-34]에서 보듯이 외기온이 20°C 일 때 실내기온이 외기온보다 7°C 이상이면 경고되도록 하며, 외기온이 30°C 일 때는 실내온은 이보다 3°C 이상 높으면 경고하도록 설계한다. 보다 일반적인 경고논리, 즉 고온, 저온에 대한 경고논리는 [그

림 3-35]에 제시하였다.

【例-17】



<그림-92> 외기온에 따른 경고온도논리도



[그림 3-35] 외기온에 따른 경고온도논리도

제 4 절 우리나라 육계사의 사육현황 및 계사의 지리적·형태적 분류

1. 우리나라 현장 육계사의 환경관리(환기) 문제점 분석

우리나라 기후는 여름철에는 고온다습하고 겨울철에는 저온·건조한 특성을 가지고 있어 양계 선진국인 EU 기후와는 많은 차이가 있으며 이러한 차이로 인해 우리나라 계사의 환기 방식은 유럽 형태를 그대로 도입해 이용했을 때 혹서 및 혹한에 대한 스트레스가 매우 큰 문제점으로 제기되고 있다. 그러므로 우리나라에서는 우리 기후 특성에 맞는 매우 독특한 환기방식이 개발되어야 함은 이미 서론에서 언급하였다. 하절기는 자연환기방식으로 겨울철에는 크로스식이나 처마 밑 파이프입기 굴뚝배기 강제 환기 방식이 주류를 이루고 있다. 특히 축산연구소에서 제안한 처마 밑 파이프입기 굴뚝배기식 환기시스템이 점차 증가하는 추세이다. 이러한 시스템은 충분한 입기구의 면적을 확보하고 어렵고 jet momentum의 저하로 냉기류를 이루어 현장에서의 민원은 심각한 수준이므로 이에 대한 보완책을 마련하여야 한다.

가. 습도관리

고온으로 인하여 계사 내가 건조되어 습도가 부족하게 되면, 탈수증이 생기고 육모 발육이 불량해진다. 또한 피부가 꺼칠해지고 식욕감퇴, 성장부진, 항문폐쇄증 등을 보이며, 폐사가 증가한다. 특히 추운 겨울철에는 온도를 유지하기 위하여 가온하면 공기가 건조하게 되는데, 이 때는 계사바닥에 물을 뿌리거나 하여 적정 습도를 유지하도록 해야 한다. 일반적으로 육계사육에 있어서 습도는 육추초기에는 약 70% 정도, 육추후기에는 약 60% 정도가 적당하다. 육추초기에는 저습에 의한 피해가 우려되지만 육추후기에는 과습(過濕)으로 인한 깔개상태의 악화를 초래하여 생산성에 영향을 미친다. 과습으로 인한 계사바닥은 금방 질척거리며, 벽은 결로(結露) 현상에 의해 벽재가 항상 젖어있는 상태로서 각종 병원성 미생물의 증식이 가속화되어 발병의 원인이 되기도 한다.

닭이 물을 얻는 경로는 음수(飲水), 사료내의 수분, 그리고 체내에서 대사과정 중에 생합성되는 대사수(代謝水)이며, 이들 중 가장 큰 부분은 음수량이다. 체내로 흡수된 물은 일부분만 체조적으로 쓰이고 나머지는 체내 수분평형의 원칙에 따라 계사 안에 다시 내놓게 되는데, 그 경로는 배설과 호흡이다. 적절한 환기를 통해 이 수분을 밖으

로 내보내지 않으면 심각한 과습상태에 놓인다.

겨울철에는 계사 안팎의 온도 차이가 매우 크기 때문에 계사 밖의 추운 공기는 수증기를 조금밖에 함유하지 않아 공기가 계사 내로 유입되면, 닭이 발산한 체열에 의해 가온되며, 수분함유능력이 크게 늘어난다. 따라서 계사 안의 공기함유 수분을 적은 환기율로 배출할 수도 있다. 또한 계사의 벽면에 이슬이 맺히는 것(결로현상)을 볼 수 있는데, 결로현상은 공기 중의 상대습도와 계사내외부의 온도차이에 의한 계사벽의 표면온도에 의해서 생긴다. 이것을 막기 위해서는 충분한 수준의 단열재를 시공하고, 벽면 이음새를 통한 찬 공기의 유입이 없도록 해야 하며, 내부공기가 벽체와 오랜 시간 접촉하지 않도록, 즉 계사 내부 공기가 정체되는 부분이 없도록 해야 한다.

나. 환기관리

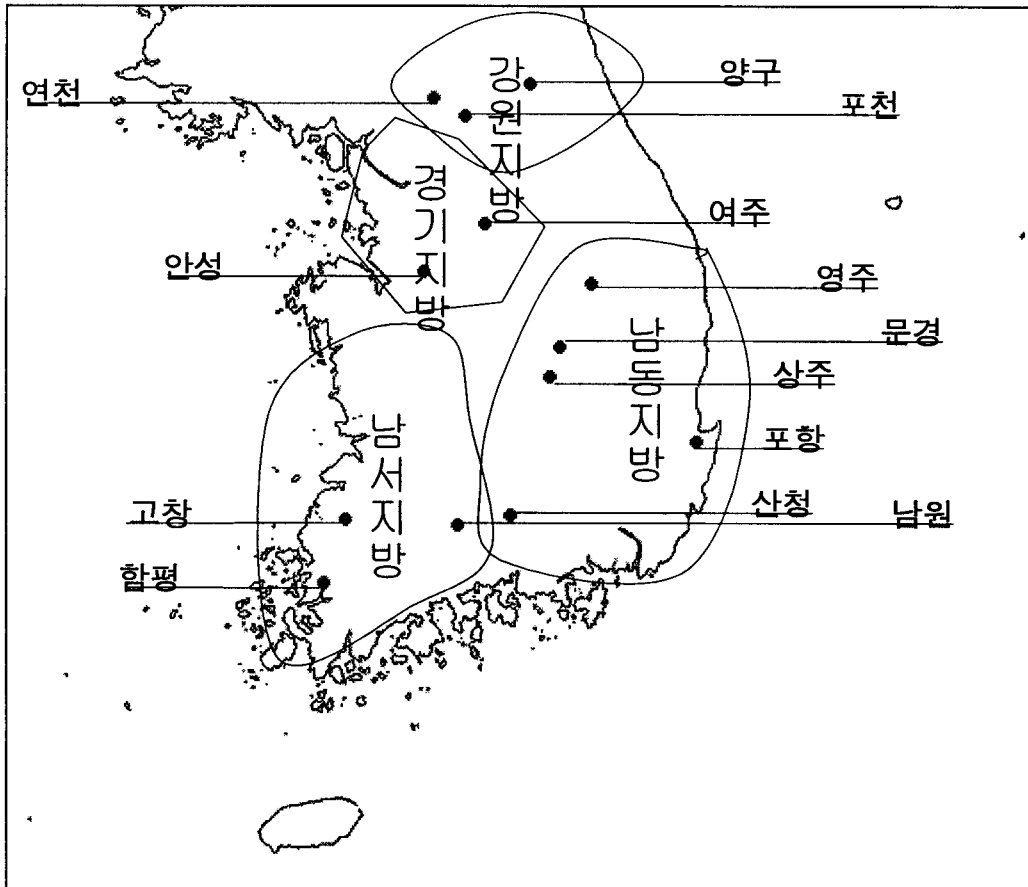
육계사육에 있어서 환기는 가장 중요하고 가장 어려운 요소이다. 특히 겨울철 환기의 과부족은 사육자의 이익과 손실의 차이를 결정지을 수 있을 만큼 중요하다. 환기는 닭의 성장과 건강에 밀접한 관계가 있으며, 부적절한 환기 경우, 사료요구율 악화, 증체량 저하, 폐사율 증가 및 질병발생을 증가 등에 큰 영향을 미친다. 또한 에너지비용도 환기율과 밀접한 관계가 있어 적절한 환기는 가축의 생산성 뿐만 아니라 경제성에도 크게 영향을 미친다.

이런 환기의 중요성에도 불구하고 육계에 있어서의 인식정도는 아주 낮은데, 이는 환기가 눈에 보이지 않기 때문에 감지하기 어렵기 때문이다. 이 때문에 사육자들은 환기 시스템에 대한 명확한 이해를 하고 공기가 어떻게, 왜 계사 안에 유입되는가를 이해하므로써 최적의 사육환경을 조성하여야 한다.

2. 우리나라 육계사의 기후적·형태적 분류

우리나라 육계사 현장실증실험은 2001년부터 2004년까지 3년간에 걸쳐 80여 육계농가를 실험 대상 육계사로 삼았으며, 조사지역은 대표성을 지닐 수 있도록, 산악-평지 지역을 균형있게 조사하였다. 또한 해안-내륙을 양쪽 다 조사하여, 해안의 지형적 영향을 최대한 반영하도록 노력하였다. 우리나라의 지형은 대체로 동고서저(東高西低)의 지형으로 동쪽 지방은 태백산맥을 중심으로 하는 산맥들이 위치하며 서쪽 지방은 완만한 구릉을 이루고 있다. [그림 3-36]은 80여 육계농가의 위치를 지도에 나타낸 그

림이다. 우리나라의 지형은 대륙풍의 영향을 받는 편서풍대 동안형???이라는 특징과 합쳐져 계사의 형태가 동서(東西)로 전혀 다른 외형을 지니고 있었다.



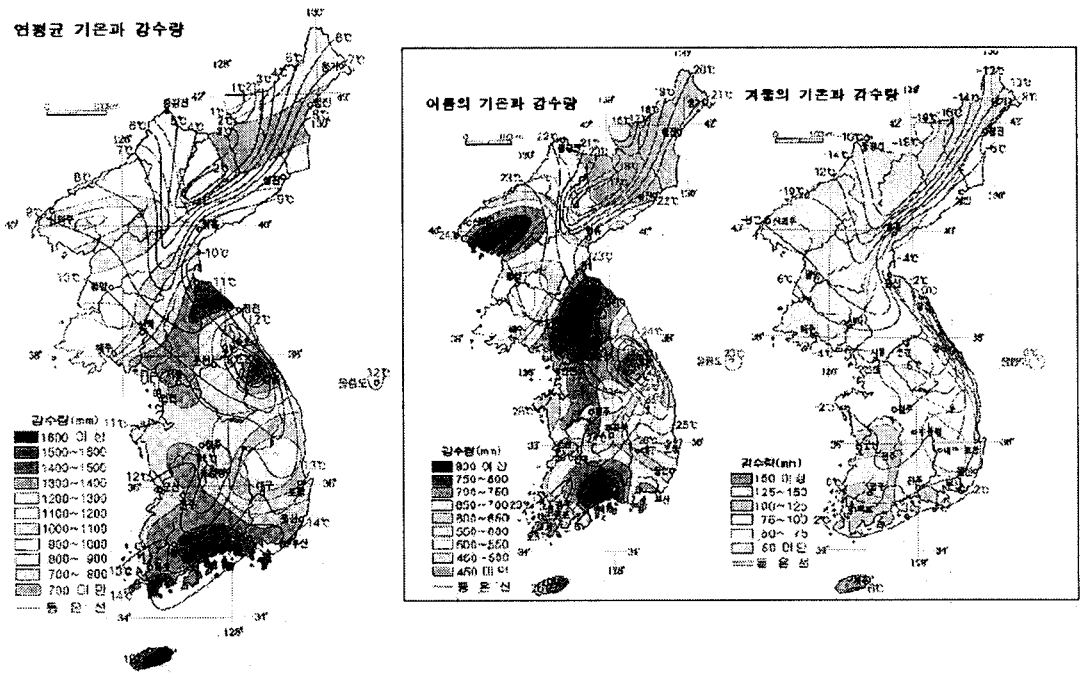
[그림 3-36] 현장 실증실험대상 육계농가 지역도

가. 남동(南東)지방 육계사 특성

우리나라의 육계사는 질병으로 인하여 남하(南下)하여 대개 남부지방에 집중되어 있는 편이다. 특히, 상주(尙州)지역에 육계단지가 형성되어 대형 하립도계장이 건축되고 전주(全州)에 대형 육계가공공장들이 들어서면서 남부지방이 육계산업의 중심지역이 되고 있다. 남동부 지방의 기후를 살펴보면, 다음과 같은 특징이 있다.

- 대표적 과우(寡雨)지역(태백산맥의 영향) ([그림 3-36] 참고)

- 혹서(酷暑)지역(특히 대구, 경북)
- 일교차가 큼(특히 산악지역)
- 소설(小雪)지역에서 비롯된 완만한 지붕
- 여름 자연환기 방식, 겨울철 기계환기방식이 주류를 이룬다.
- 평균 사육밀도가 높음
- 더위의 문제로 인한 횡단환기(cross 환기)가 주류를 이룬다.



[그림 3-37] 연평균 기온과 강수량(左)과 여름과 겨울의 기온과 강수량(中과 右)

나. 남서(南西)지방의 육계사 특성

남서지방의 육계사는 대개 해안에 가까이 위치해 있는 경우가 많으며, 이 지방의 육계특성은 다음과 같다.

- 습도가 높은 편이다.
- 해양성 기후의 영향으로 일교차와 연교차가 작은편이다.
- 다설(多雪)지역
- 용마루고가 높고 지붕경사가 큼 (설하중 감소를 위하여)

- 여름철 자연환기방식 겨울철 기계환기방식이나 타 지역에 자연환기율이 높음.
- 여름철 고온의 문제로 동당 면적을 적게 하는 경향이 있음.
- 계사의 길이가 짧은 편으로 주로 강제환기의 경우 횡단(cross)환기에 의존하는 편임.

다. 경기(京畿)지방의 육계사의 형태

경기지방의 육계사는 상대적으로 지가(地價)가 높은 지역에 위치하여 집약적 양계가 이루어질 것으로 예상되었으나, 의외로 자연환기의 비율이 높았고, 사육밀도도 타 지방에 비하여 높지 아니하고 총사육수수도 많은 편이 아니었다. 이는 남부지방에 비해 서늘한 기후와 높은 일교차, 환경제어가 용이하지 아니한 때문으로 분석되며, 또한 양계산업이 대도시 근교인 경기(京畿) 서부보다는 강원도에 가까운 동북부에 위치해 있는 것으로 보아 지대의 영향은 크게 받지 않을 것으로 나타났다.

경기지방 육계사의 특징은 다음과 같다.

- 자연환기 계사가 주종을 이루며,
- 특히 겨울철 저온으로 단열수준이 높은 계사
- 지붕편을 이용한 터널식 환기의 비율이 높은 편임

라. 강원(江原)지방 육계사의 형태

강원지방 육계산업은 대개 군부대에 납품하여 다른 지방보다 단가(單價)가 높은 편임에도 불구하고 흑서로 대형화하지는 못한 실정이다. 강원도의 기후는 혹한(酷寒)과 다설(多雪)로 특징된다. 이런 기상적 극한은 육계사의 여타 환경요인보다 온도관리에 중점을 둔 계사형태를 이루게 했고, 남부지방과는 달리 더위에 대한 대비는 별로 되어있지 않았다. 육계사 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 매루 지붕 경사가 심함 (대설로 인함)
- 타 지방보다 이중원치의 비율이 높음

마. 지역별 계사 형태 특징분류

육계사(산란계사 포함)의 특성, 즉, 총사육수수, 육계사 지붕기울기, 계사길이, 계사너비, 계사면적, 등을 지역별 즉, 경기, 강원, 남동, 남서 지방으로 분류하여 [표 3-23] ~ [표 3-29]에 기술하였다.

[표 3-23] 남동(南東) 지방 육계사 특성

육계사 위치	총사육수수, 만수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
경북 상주시 사벌면 A	7	8.7	100	13	1300
		8.7	100	13	1300
		8.7	100	13	1300
경북 상주시 외남면 B	5.5	17.1	120	13	1560
		17.1	120	13	1560
		18.4	77	12	924
경북 문경시 호계면 C	7.5	11.3	100	13	1300
		11.3	100	13	1300
		12.2	100	12	1200
경북 상주시 외서면 D	6	20.3	85	13	1105
		20.3	85	13	1105
		20.3	74	12	888
		20.3	74	12	888
경북 상주시 외남면 E	7.5	19.5	100	13	1300
		19.5	100	13	1300
		19.5	80	13	1040
경북 상주시 외남면 F	5	16.7	75	12	900
		16.7	75	12	900
		16.7	120	13	1560
경북 상주시 낭동면 G	4.8	19.5	97	13	1261
		19.5	97	13	1261
경북 상주시 낙동면 8	5.5	18.7	90	13	1170
		20.1	82	12	984
		20.1	64	12	768
경북 상주시 낙동면 H	4	16.7	110	12	1320
		16.7	95	12	1140
경남 남해군 삼동면 I	5		55	12	660
			55	12	660
			55	12	660
			55	12	660
			55	12	660
			55	12	660
경남 산청군 단성면 J	3	23.7	30	6	180
		23.7	30	6	180
		23.7	30	6	180
		23.7	30	6	180
		23.7	50	6	300
		23.7	50	6	300
		23.7	50	6	300

		45	7	315
		45	7	315
		14.9	60	720
		14.9	60	720
		14.9	60	720
		14.9	60	720
전남 함평군 손불면 E	8	14.9	60	720
		14.9	60	720
		14.9	60	720
		14.9	60	720
		20.3	63.5	825.5
		20.3	63.5	825.5
전남 함평군 대동면 F	5.3	20.3	63.5	825.5
		20.3	63.5	825.5
		20.3	63.5	825.5
전남 화순군 춘양면 G	4.6			
전남 함평군 학교면 H	4.5			
		36.9	100	800
		36.9	100	800
전북 고창군 부안면 I	5	36.9	100	800
		36.9	100	800
		36.9	100	800
		16.7	70	700
		16.7	70	700
전북 고창군 부안면 J	6	16.7	70	700
		16.7	70	700
		16.7	70	700
		23.5	79	797.9
		23.5	79	797.9
전북 고창군 흥덕면 K	6	23.5	79	797.9
		23.5	79	797.9
		23.5	79	797.9
		32.1	59	507.4
		32.1	59	507.4
		32.1	59	507.4
전북 고창군 흥덕면 L	6.5	32.1	59	507.4
		32.1	59	507.4
		32.1	59	507.4
		32.1	59	507.4
		32.1	59	507.4

전북 고창군 흥덕면 M	5.0
전북 고창군 해리면 N	4.3
전북 고창군 부안면 O	5.0
전북 고창군 해리면 P	3.2

[표 3-25] 경기(京畿) 지방 육계사 특성

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
경기도 이천시 울면 A	3.5	22.6	50	12	600
		22.6	50	12	600
		22.6	50	12	600
		22.6	50	12	600
		22.6	50	12	600
경기도 안성시 일죽면 B	2.5	18.4	65	9	585
		18.4	65	9	585
		18.4	65	9	585

[표 3-26] 강원(江原)지방 지역별 조사 농가-산란계

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
강원 양구군 남면 C	3.25	19.7	70	9.5	665
		23.7	65	7	455
		23.7	65	7	455
		23.7	65	7	455
		23.7	65	7	455
		23.7	65	7	455
강원 원주시 신림면 D	3	26.6	42	6	252
		26.6	42	6	252
		26.6	42	6	252
		26.6	42	6	252
		26.6	40	6	240
		26.6	40	6	240
		26.6	40	6	240
		26.6	40	6	240
		26.6	40	6	240

[표 3-27] 영남지방 지역별 조사 농가-산란계

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
경남 산청 신안 A	30	6.9	100	33	3300
		6.9	100	33	3300
		6.9	100	33	3300
경북 영주시 장수면 B	6	10.8	90	10.5	945
		10.8	90	10.5	945
경북 포항시 북구 C	2	13.1	40	13.2	528
		13.1	40	13.2	528

[표 3-28] 호남지방 지역별 조사 농가-산란계

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
전남 화순군 능주면 A	2.5				
전북 고창군 고수면 B	2.2				

[표 3-29] 경기(京畿)지방 지역별 조사 농가-산란계

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
경기도 포천시 영중면 A	6	6.7	105	12	1260
		6.7	105	12	1260
		6.7	105	12	1260
경기도 포천시 영북면B	2.5	26	36	12.3	442.8
		26	36	12.3	442.8
		26	36	12.3	442.8
경기도 포천시 신북면 C	2.5	22.6	64	12	768
		22.6	64	12	768
경기도 광주시 초월면 D	7	9.5	65	12	780
		9.5	65	12	780
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
경기도 연천군 군남면 E	10	16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
경기도 여주군 매룡리 F	6	19.3	120	9.7	1164
		19.3	120	9.7	1164

		19.3	120	9.7	1164
경기도 광주시 실촌면 G	7	17.2	65	11	715
		17.2	65	11	715

[표 3-30] 경기(京畿)지방 지역별 조사 농가-산란계

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
경기도 포천시 영중면 A	6	6.7	105	12	1260
		6.7	105	12	1260
		6.7	105	12	1260
경기도 포천시 영북면B	2.5	26	36	12.3	442.8
		26	36	12.3	442.8
		26	36	12.3	442.8
경기도 포천시 신북면 C	2.5	22.6	64	12	768
		22.6	64	12	768
경기도 광주시 초월면 D	7	9.5	65	12	780
		9.5	65	12	780
경기도 연천군 군남면 E	10	16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
		16.7	60	12	720
경기도 여주군 매룡리 F	6	19.3	120	9.7	1164
		19.3	120	9.7	1164
		19.3	120	9.7	1164
경기도 광주시 실촌면 G	7	17.2	65	11	715
		17.2	65	11	715

[표 3-31] 강원(江原)지방 지역별 조사 농가-산란계

농장위치	사육수수	지붕기울기	계사길이	계사너비	계사면적
강원A	2.5	26	36	12.3	442.8
		26	36	12.3	442.8
		26	36	12.3	442.8

강원 양구읍 한전리 A	2.5	4.4	75	9	675
		4.4	75	9	675
강원 화천읍 풍산리 B	2.6	18.4	100	9	900
		18.4	100	9	900
강원 양구군 남면 C	0.7	13	65	7.2	468
		28.2	70	9.7	679
강원 양구군 남면 D	4	28.2	70	9.7	679
		28.2	70	9.7	679
		28.2	70	9.7	679
강원 E	2.5				0
강원 양구군 남면 F	4				0

마. 지역별 계사형태 특성 요약

[표 3-23]에서 [표 3-31]의 영남, 호남, 경기, 강원지역 17개 농가 43개 계사를 특성별로 분류한 결과 [표 3-32]에 나타낸 것이며, [표 3-33]은 27개 농가 136개 육계사를 분류하여 요약한 것이다.

[표 3-32] 지역별 산란계사 형태 특성별 요약

구분	영남	호남	경기	강원
총조사농가수(호)	3	-	7	7
총조사계사수	7	-	21	15
무창계사비율				
자연환기비율				
지붕의 각도(°)	9.8	-	16.9	20.1
횡단환기비율				
종단환기비율				
이중원치비율				
평균사육수수(만수)	12.7	-	5.9	2.7
평당사육수수(수)	97.8	-	77.7	58.2
평균계사외 1월	-0.2	3.4	-3.5	-3.2
부기온(°C) 7월	25.8	25.5	24.5	25.3
평균계사외 1월	47.5	72	71	65

부습도(%) 7월	80	82	83	80
증발건조시스템 동당계사길이(m)	80.0	-	72.9	66.6
동당계사면적(평)	555.1	-	251.3	140.8

[표 3-33] 지역별 육계사 형태 특성별 요약

구분	영남	호남	경기	강원
총조사농가수(호)	13	10	2	2
총조사계사수	54	59	8	15
무창계사비율				
자연환기비율				
지붕의 각도(°)	18.5	22.7	21.0	25.2
횡단환기비율				
종단환기비율				
이중원치비율				
평균사육수수(만수)	5.4	6.23	3.0	3.1
평당사육수수(수)	56.2	51.2	41.7	40.1
평균계사외부 1월 기온(°C) 7월	-0.2 25.8	3.4 25.5	-3.5 24.5	-3.2 25.3
평균계사외부 1월 습도(%) 7월	47.5 80	72 82	71 83	65 80
증발건조시스템 동당계사길이(m)	68.4	66.2	55.6	50.9
동당계사면적(평)	231.9	206.4	179.8	103.8

우리 나라는 거의 대부분의 지역이 일교차와 연교차가 크고, 계절의 구분이 뚜렷하기 때문에 한 가지 형태의 계사보다는 복합적 형태의 계사로 나타난다. 이는 우리나라의 자연환경이 혹서기와 혹한기를 동시에 존재하므로 기인하는데, 혹서기를 대비한 tunnel (lognitudinal) 환기와 혹한기를 대비한 cross 환기 시설을 동시에 설치하여 상황에 맞게 운영하고 있었다. 형태와 시설에 의해 분류된 계사의 비율은 [표 3-33]과 같다. 조사 항목은 총 69농가이며, 대다수는 음압식환기에 의존하는 경우가 많았다. 다음 [표 3-34]~[표 3-35]는 여름기상조건에서의 환기방식을 요약한 것이다.

[표 3-34] 기계식 환기(여름기상조건)

환기시스템		무창계사		유창계사		
		파이프 입기	슬롯-inlet입기	파이프 입기	슬롯-inlet입기	단순원치입기
cross 환기	측벽 입기	5	3	12	4	18
	전면 입기	3		0		
tunnel식환기		2	3	4	1	
중압식(中壓式) 환기		1(비닐 덕트 천공식 환기)				

[표 3-35] 자연 환기(겨울 기상조건)

자연환기	용마루 배기 병행	원치 환기
	8	3

겨울철은 대부분의 기계환기는 음압(陰壓)식에 의존하고 있으며, 자연환기와 기계환기의 비율은 31:38로, 거의 비슷한 편이었다. 음압식 환기는 대부분 굴뚝팬을 이용한 터널환기에 의존하고 있었으며,(36농가 중 30농가) 환기에 의존하고 있었으며, 파이프 입기를 사용하는 곳이 많아 겨울철 냉해에 그대로 노출되어 있었다. 다음 [표 3-36] 과 [표 3-37]은 겨울 상황의 환기방식을 나타낸 것이다.

[표 3-36] 기계식 환기

환기시스템		무창계사		유창계사	
		파이프 입기	슬롯-인렛 입기	파이프 입기	슬롯-인렛 입기
cross 환기	측벽 입기	3	2	1	0
	전면 입기	0		0	
tunnel환기		12	8	6	4
양압(陽壓)식 환기		2(비닐 덕트 천공식 환기)			

[표 3-37] 자연 환기

자연환기	용마루 배기 병행	원치 환기
	20	11

우리나라의 자연환경이 다양한 만큼 계사의 형태도 다양한데, 이러한 계사들은 뚜렷한 기준없이 거의 농장주들의 자의적인 기준으로 팬제작회사들의 경험에 의해 이루어

어지고 있었다. 한국형 표준 육계사를 정립하기 위해서는 먼저 엄격한 환경평가부터 행한 뒤, 그에 따라 우리나라의 실정에 가장 적합한 계사의 형태를 찾아야 한다. 이를 위해 총31회의 환경변수 평가를 실시하였고, 그 결과는 3장 5절에 상세히 기술하였다.

제 5 절 육계사 현장실험결과

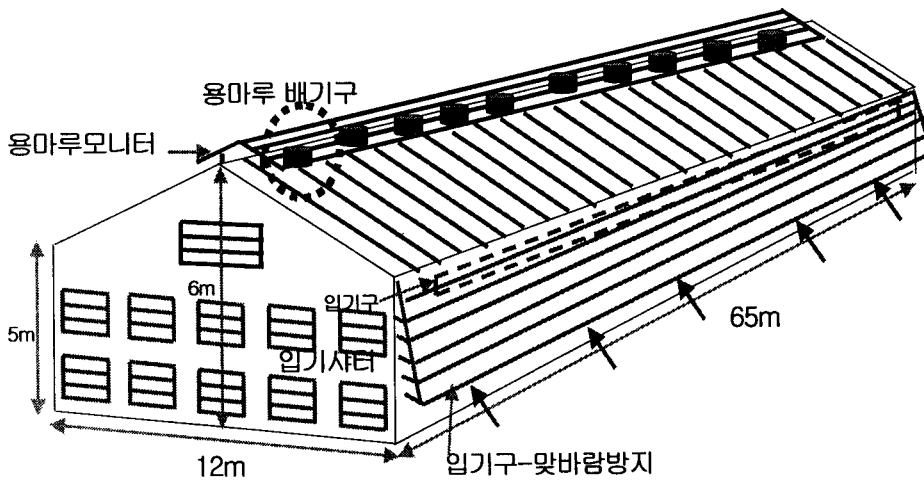
1. 물리·화학적 환경변수 현장실측실험

3장 4절에서 2002~2004년(3년)까지 3여년 동안 육계 52개농가, 산란계 20개 농가 총 72개 농가 소유 약 160여개 육계사(산란계사 포함)의 지역별 기상적, 계사 형태적 특성을 분석한 52여개 양계농가 중 28개 대표농가를 선정하여 육계사의 물리, 화학적 환경적 변수(온도, 습도, 암모니아 등)를 개별농가 단위로 분석하여 궁극적으로 우리나라 지역별 적정환경을 유지할 수 있는 육계사(산란계사 포함)를 제시하고자 하였다.

가. 연도별(年度別) 개별농가 현장환경분석

1) 제 1 실험계사

- 환기시스템 :
 - [여름] 음압식 기계환기 : 측벽_전면 슬롯inlet 입기, 후면 벽팬_굴뚝팬 배기(여름)
 - [겨울] 음압식 기계환기 : 측벽_전면 슬롯inlet 입기(入氣), 굴뚝팬 배기(겨울)
- 일시 : 2002년 10월 20일
- 장소 : 경기도 광주시 초월면 산란계사-1
- 측정 환경 변수 : 건구 온도, 상대습도, 유속, 암모니아 집적 농도
- 외부기온 : 11.2℃; 외부 상대습도 : 30.5%



[표 3-38] 제 1실험 계사 실내의 환경 변수

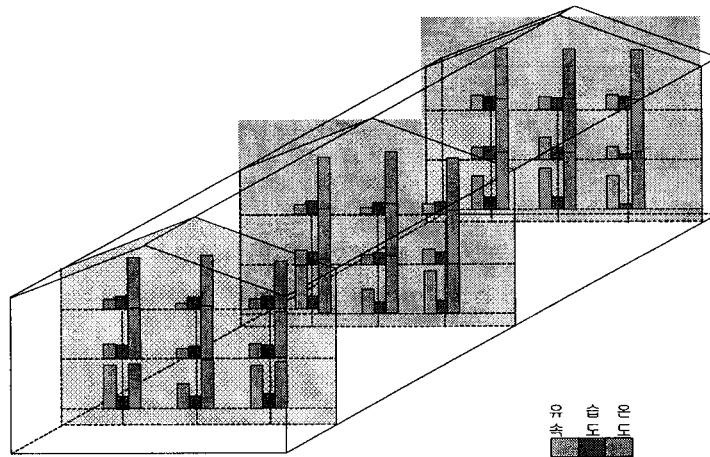
○ 공기 환경분석 : 외부의 기온에 비해 내부의 온도는 상당히 안정적으로 쾌적한 온도를 유지하고 있고, 습도 역시 균일하게 50% 전후로 분포하고 있다. 내부의 온도 편차 최대값 t_{dbmax} 는 7.2℃로 상당히 높은 편이지만, 실제의 표준편차 2.17로 낮기 때문에 온도 분포 상태는 매우 양호한 것으로 보인다. 암모니아 농도 역시 1 ppm 이하로 실내환경제어가 매우 적절한 것으로 보인다.

이러한 적절한 환경제어가 가능한 이유는 정밀하게 제어할 수 있는 슬롯-인렛 입기구의 영향과 기류의 방향을 쉽게 전환할 수 있게 종/횡류환기 방향 모두에 배기팬을 설치한 것으로 보이며, 한국형 표준 계사에 가장 적합한 설정으로 볼 수 있다.

산란계사 내부의 온도분포는 재래식 계사와 달리 전단면과 중단면의 상하부 온도 편차가 4℃에 이르며, 후단면은 2℃ 내외로 관찰되었다. 그러나 단면(斷面)간 온도분포의 형태는 크게 다르지 않았다. 기존계사와 마찬가지로 또한 지붕의 원치커튼이 설치된 용마루 배기구를 통한 가온(加溫)공기의 급속(急速)배기는 실내온도 저하를 가속시킬 것으로 판단된다. 계사 내부의 평균온도가 약 9.8℃로 기존계사에 비해서 낮게 나타났다. 이는 동간 퇴비비가립 시설의 지붕의 태양열 차단효과로 이해된다.

상대습도의 경우, 전체적인 습도 분포형태는 기존계사와 비슷하지만, 평균 습도는 약 5% 정도 낮게 관찰되었다. 이는 내부공간이 기존계사에 비해서 넓을 뿐 만 아니라, 계분의 발생 수분이 적으며, 사육밀도가 기존에 비해서 낮기 때문에 호흡에 의한 수분발생도 적기 때문으로 판단된다.

실내의 암모니아의 농도는 재래식 계사보다 1~2ppm 낮은 10~12ppm 정도로 나타났으며, 이는 바닥의 분뇨처리와 원활히 이루어지면 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 3-39] 제 1실험 계사의 환경변수 분포

[표 3-38] 제 1실험 계사 실내 위치별 환경변수분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	전단면	상부	20.6	21.6	19.2
		중부	20.4	21.1	18.6
		하부	17.9	19.5	18.8
	중단면	상부	23.4	25.1	22.5
		중부	22.5	24.5	21.9
		하부	22.1	23.3	20.1
	후단면	상부	25.0	24.8	24.4
		중부	24.3	24.3	24.1
		하부	23.1	23.4	23.4
습도 (%)	전단면	상부	54.4	49.6	51.6
		중부	53.6	49.4	52.3
		하부	53.3	48.8	51.8
	중단면	상부	53.0	47.4	52.4
		중부	52.8	48.9	52.1
		하부	52.2	47.9	52.9
	후단면	상부	54.3	49.8	52.1
		중부	52.8	48.9	51.5
		하부	51.8	49.2	51.2
유속 (m/s)	전단면	상부	0.08	0.05	0.08
		중부	0.12	0.08	0.12
		하부	0.35	0.20	0.35
	중단면	상부	0.08	0.05	0.08
		중부	0.12	0.08	0.12
		하부	0.35	0.20	0.35
	후단면	상부	0.12	0.10	0.12
		중부	0.10	0.18	0.10
		하부	0.27	0.33	0.27

* 평균 온도 : 22.2±2.17°C ; 평균 상대습도 : 51.33±1.97% ; 평균유속 : 0.16±0.10m/s

2) 제 2 실험계사

○ 환기시스템 :

[여름] 음압식 기계환기, 윈치 커튼 입기, 후면 벽팬 바기(여름)

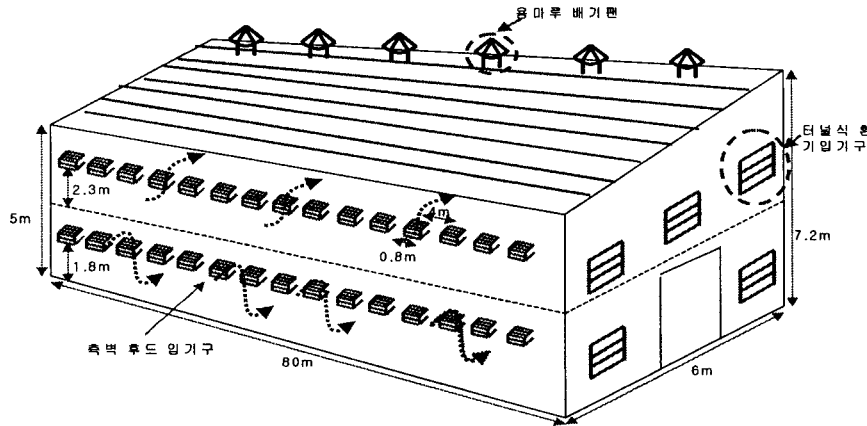
[겨울] 자연환기, 측/전면 슬롯-인렛입기, 용마루 배기(겨울)

○ 일시 : 2002년 10월 20일

○ 장소 : 경기도 광주시 실촌면-산관계사-2

○ 측정 환경 변수 : 건구 온도, 상대습도, 유속, 암모니아 집적 농도

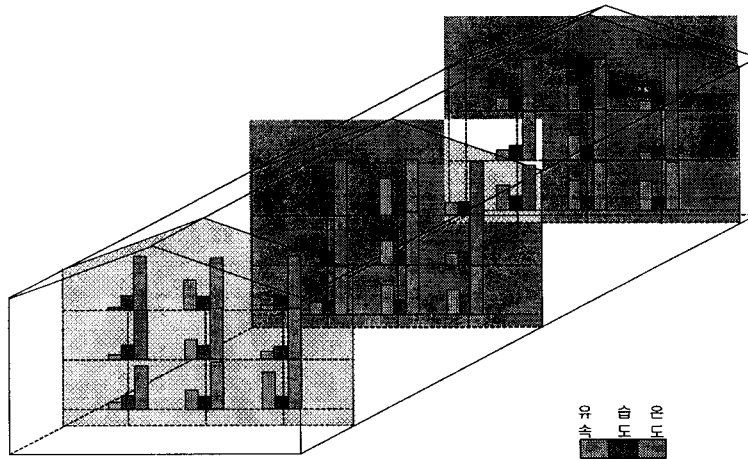
○ 외부기온 6.3°C; 외부 상대습도 37%



[그림 3-40] 제 2실험 계사의 시설 모식도

○ 공기 환경분석 : 온도분포의 경우 전체적으로 비교적 균일한 분포를 나타내고 있었다. 특히 측정을 야간에 실시하여 외기온이 낮아 환기율이 크지 않아 공기유속에 따른 영향보다는 열부력에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다. 즉, 좌우측 단면별 온도지점별 온도편차는 거의 없으나 상하부의 온도차는 1~2℃ 정도 나타났다.

습도의 경우 전체적으로 편차가 약 5% 범위 이내에서 분포되어 있으나 좌측단면의 습도가 우측단면 습도보다 2~3% 정도 높게 측정되었다. 이는 상대적으로 습도가 높은 외부공기가 좌측 원치커튼을 통하여 누입(漏入)되었기 때문으로 이해된다.



<그림 3-41>제 6 실험 계사의 환경 변수 분포

유속분포는 가을철 환기율이므로 그것도 외기온이 낮은 야간에 측정하였기 때문에 전체적으로 내부유속은 거의 없었으며, 있다하더라도 측정 오차범위에 있어 이를 두고 해석하는 것은 옳지 못하다. 굳이 말하자면 하부가 약간 높게 나타났으나 이를 윈치 커튼이 완전 차단된 상태에서 윈치커튼 하단틈새로 누입되는 공기로 인하여, 상부에서 유속이 나타나는 것은 열부력에 의한 것으로 이해하면 될 듯하다.

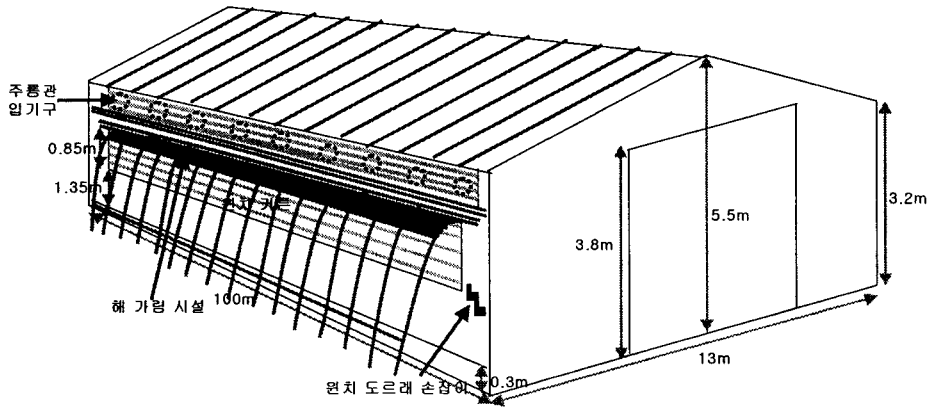
[표 3-39] 제 2실험 계사 실내의 환경 변수분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	전단면	상부	21.8	21.1	21.6
		중부	20.1	20.6	20.6
		하부	17.5	19.0	19.8
	중단면	상부	22.6	22.4	21.4
		중부	19.9	21.3	20.6
		하부	19.3	19.8	19.6
	후단면	상부	20.7	20.7	20.7
		중부	19.4	20.5	19.8
		하부	18.1	19.1	19.0
습도 (%)	전단면	상부	57.1	54.1	53.5
		중부	60.0	55.9	54.9
		하부	57.1	54.7	53.8
	중단면	상부	55.9	54.0	53.9
		중부	57.1	55.6	54.7
		하부	56.2	55.6	54.9
	후단면	상부	56.2	54.2	55.6
		중부	60.9	56.5	54.3
		하부	57.1	55.7	54.4
유속 (m/s)	전단면	상부	0.01	0.12	0.02
		중부	0.02	0.08	0.03
		하부	0.03	0.08	0.15
	중단면	상부	0.01	0.15	0.05
		중부	0.01	0.10	0.05
		하부	0.05	0.12	0.10
	후단면	상부	0.05	0.10	0.04
		중부	0.04	0.10	0.03
		하부	0.10	0.12	0.12

* 평균온도 : 20.20±1.20 °C ; 평균상대습도 : 55.70±1.76% 평균유속 : 0.07±0.04%

3) 제 3 실험계사

- 계사 시설 : 음압식 기계환기, 윈치 커튼/ 파이프 입기, 후면 벽팬 배기(여름)
자연환기, 윈치커튼 입기, 굴뚝팬 배기(겨울)
- 일시 : 2002년 10월 16일
- 장소 : 경상북도 상주시 외남면- 육계사 3
- 측정 환경 변수 : 건구 온도, 상대습도, 유속, 암모니아 집적 농도



[그림 3-42] 제 3실험 계사의 시설 모식도

[표 3-40] 제 3 실험 계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
유속 (m/s)	전단면	상부	0.4	0.4	0.4
		중부	0.3	1.5	1.2
		하부	1.5	2.1	2.1
	중단면	상부	0.6	0.5	0.7
		중부	1.1	0.7	1.1
		하부	1.0	1.1	1.0
	후단면	상부	0.7	0.8	0.9
		중부	1.3	1.2	1.0
		하부	1.2	1.2	1.1

* 평균 유속 : 1.00%

○ 공기 환경 평가 : 본 농가에서 이용하는 환기시스템의 경우, 자연환기식 육계사라고 말하기에는 어렵다. 여름철에 자연환기와 겨울철에 강제환기의 병합방식이라 할 수 있다. 오히려 강제환기식 육계사에도 측벽에 윈치커튼을 만든 형태이다. 따라서 환

기전략도 강제환기식 육계사와 거의 유사한 형태로 이루어지고 있다. 그러나 자연환기의 형태도 병행하여야 하기 때문에 독자적인 환기운영전략이 요구된다.

겨울철 주름관 처마 입기구 ($\Phi 200\text{mm}$)을 통한 입기시 공기의 흐름에 대한 제어는 현실적으로 어려움이 많다. 왜냐하면 겨울철에는 배기팬을 통한 최소환기율을 적용하기 때문에 실내·외 정압차가 낮아 입기체트가 낙하할 가능성이 높기 때문이다. 그러므로 최소환기율 적용시:

① 주름관 입기구의 개도(開度:openess)를 조절할 수 있는 장치를 하거나,

② 주름관에 개폐장치를 하여 간헐적(일부 입기구 폐쇄, 일부 입기구 개방)하여 적정 유속으로 기존 공기와의 급속 혼합을 유도한다.

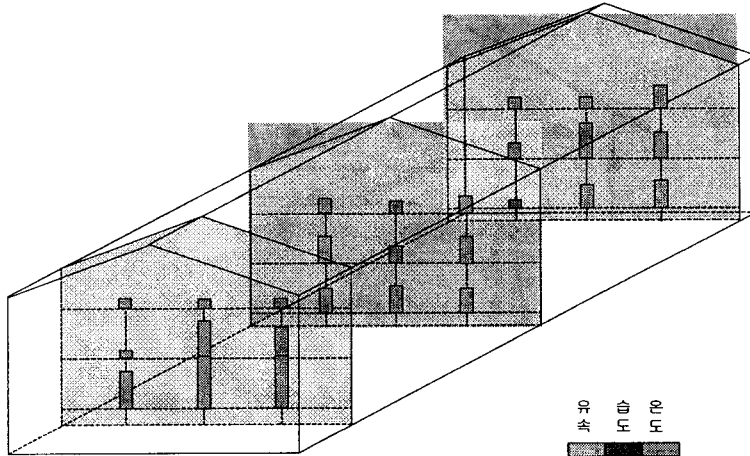
③ 또는 아예 주름관 처마 입기구를 완전 폐쇄하고 윈치커튼의 개도를 적절히 조절하거나, 누입공기를 입기공기화하는 방법을 검토할 수 있다.

계사 내 습도조절의 경우, 외부공기의 상대습도가 지역간, 농가간 편차가 심하고 적절한 계측기구의 부재 등으로 제어에 어려움이 많다. 일반적으로 계사내에서는 다습(多濕)에 대한 제어의 어려움이 많으며, 건조에 대한 문제는 상대적으로 적다. 따라서 본 농가에서는 건조에 대한 문제의 해결을 위해서는 계사내부 가습을 위해서 분무 노즐을 이용하는 것은 바람직할 것으로 생각된다.

추가적으로 본 농가에서는 바닥재의 교환이 1~2회전 당 한번 시행하고 있었으며, 이는 4~5 회전에 한번 시행하는 다른 농가에 비해서 상대적으로 매우 빈번하게 일어나고 있었다. 깔개의 교환은 바닥에서 발생할 수 있는 여러 가지 오염원의 생성을 최소화할 수 있는 장점이 있으나, 건조한 왕겨 등에 의해 공기내 수분을 흡수하는 역할도 할 수 있다. 따라서 최근에 생균제 등의 영향으로 바닥재의 교환횟수를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 농가에서 현재 立錐되지 않은 상태에서 계사 내·외부의 온도, 습도를 측정하였으며, 내부의 암모니아 농도를 측정하였다. 그 결과 모든 계사에서 내·외부의 온도는 각각 21.8℃, 23.3℃로 1.5℃ 정도 차이가 있었으며, 이는 외부의 태양복사열에 의한 영향으로 판단된다. 상대습도도 각각 41.9%, 41.3%로 거의 비슷하게 나타났다. 내부의 암모니아 농도는 약 3ppm으로 현재 未立錐 상태로는 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 터널식 강제 환기장치를 가동한 상태에서 계사내부의 임의의 27지점에서의 유속을 측정된 결과 [표 3-39]와 같았다. 전체적으로 비슷한 분포를 보이고 있으며, 각 단면별 상하부를 기준으로 살펴보면 상부에 비해서 하부가 약 1m/s 이상 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 입구쪽(前단면)에서 차이가 더 큰 것으로 볼 수 있

다. 실험에 이용한 육계사는 닭이 없는 상태에서 터널식 강제환기시행 결과이므로 입구의 공기 흡입과정에서 하부가 상부에 비해서 상대적으로 방해물이 적으며, 에너지 손실이 적은 관계로 하부로 강한 유속이 형성되기 때문이다. 이러한 현상은 여름철 닭의 체감온도를 저하시키는데 바람직하다고 판단된다.



<그림 3-43> 제 3실험 계사의 환경 변수 분포

4) 제 4실험계사

- 환기시스템 : 음압식 기계환기, 원치 커튼 입기, 측면 벽팬 배기(여름)
자연환기, 원치커튼/파이프 입기, 굴뚝팬 배기(겨울)
- 일시 : 2002년 10월 16일
- 장소 : 경상북도 상주시 외남면_육계사-4
- 측정 환경 변수 : 유속, 암모니아 집적 농도

[표 3-41] 제 4 실험 계사 실내의 환경 변수분포

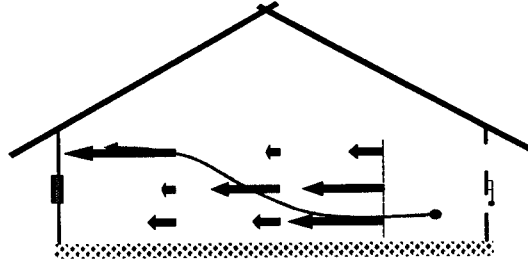
변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
유속 (m/s)	중단면	상부	0.8	0.1	0.25
		중부	0.1	0.5	0.6
		하부	0.2	0.2	0.7

* 평균 유속 : 0.27 ± 0.38 %

○ 공기 환경 평가 : 경북 상주 정재현씨 농가의 제 1차 실험은 입추되지 않은 상태에서의 팬 효율을 보기 위한 것으로, 유속만을 측정 하였다. 시설 외부의 건구 온도 t_{db} 는 21.1°C 이고, 상대습도 h 는 46.1%였다. 횡단면 강제 음압식 환기로 실험하였으며

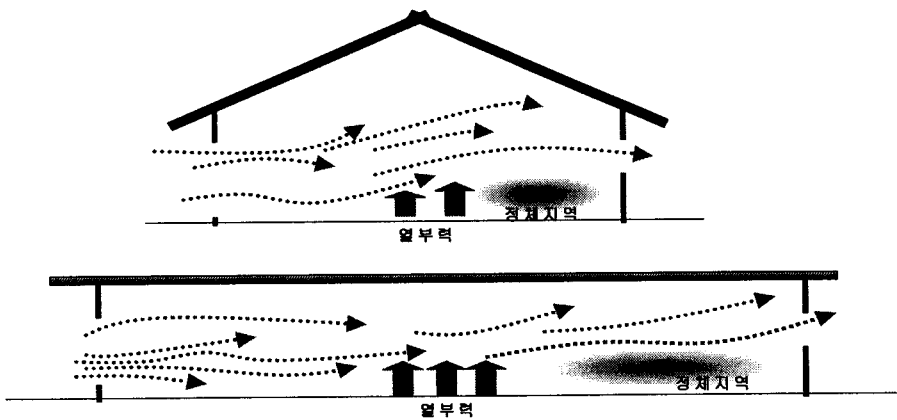
결과는 [표 3-39]와 같다.

원치 부근은 하부가 상부에 비해 높게 측정되었으나, 우측 팬 부근은 상부가 하부에 비해 유속의 차 Δv 는 0.45%로 하부가 훨씬 높게 나타났다. 이를 볼 때, 공기의 흐름은 [그림 3-44]와 같다.



[그림 3-44] J 육계농가 실험계사 유속 분포도

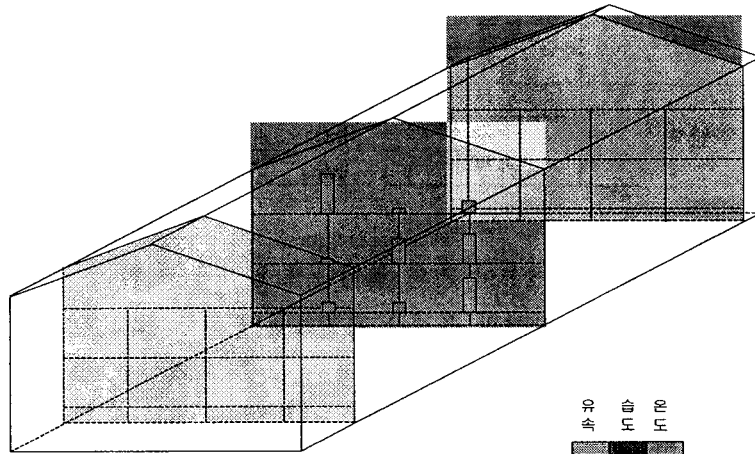
공기는 하부로 입기되어 상부로 나갔으며, 이것은 heat voyancy의 영향으로 보인다. 그러나 이러한 점을 감안하더라도, 일방향적 측벽입기-측벽배기는 계사의 유속 제어에 좋지 못하며, 배기구 주변의 육계(좌측 하단위치)는 유속의 영향을 받지 못해서, 여름에는 위험할 수도 있을 것으로 판단된다. 육계를 해외에 비해 밀사하는 한국의 경우(평당 40수~80수), 열부력의 영향을 많이 받게 되기 때문에, 일방향적 측벽입기-측벽배기는 좋은 결과를 얻기 힘들 것으로 보인다.



[그림 3-45] 일직선식 환기시에 나타나는 공기 정체 현상

종류(縱流)식 환기에서 일직선적인 환기는 열부력의 영향을 받아, 위로 솟구치며, 공

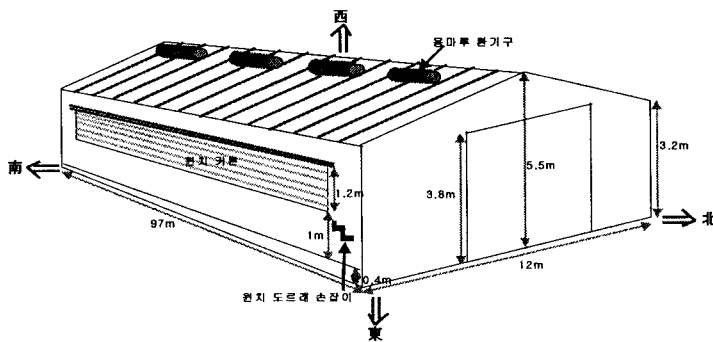
기 정체(停滯) 지역을 만들기가 쉽다. 그러나 그러한 상황을 막기 위하여 배기팬을 아래로 이동하는 것은 공기의 이동경로를 따라 분진 및 오염물질이 함께 이동할 수 있으므로, 배기팬을 아래로 이동시키는 것은 바람직하지 못하며, 차풍막을 설치하여, 공기의 상승을 억제하는 방법을 사용하는 것이 바람직하다.



[그림 3-46] 제 4 실험 계사의 환경 변수 분포

5) 제 5 실험계사

- 계사 시설 : 자연환기, 원치커튼 입기, 용마루 배기(여름)
자연환기, 원치커튼 입기, 용마루 배기(겨울)
- 일시 : 2002년 10월 17일
- 장소 : 경상북도 상주시 낙동면- 육계사 5
- 측정 환경 변수 : 유속



[그림 3-47] 제 2실험 육계사의 모형도

[표 3-40] 제 5 실험 계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
유속 (m/s)	전단면	상부	0.10	0.10	0.02
		중부	0.08	0.05	0.07
		하부	0.05	0.05	0.08
	중단면	상부	0.08	0.08	0.03
		중부	0.07	0.06	0.06
		하부	0.04	0.05	0.07
	후단면	상부	0.10	0.10	0.05
		중부	0.07	0.06	0.07
		하부	0.05	0.06	0.07

* 평균 유속 : 0.07±0.02%

○ 공기 환경 평가 : 계사의 변형이 거의 일어나지 않아서 매우 단순하면서 깔끔한 형태를 유지하고 있었으며, 이 농장의 육계사 환기효율이 높은 것으로 판단되었다. 상주지역에서 자연환기에 의한 육계사를 운영할 경우, 표준 육계사로 권장해도 좋을 것으로 판단되었다. 단지 측벽 하부의 윈치 유무에 따른 효율 검증이 필요할 것으로 판단된다. 겨울철 육계사 가온(加溫)을 위한 난방비 절감은 육계생산비에 직접적인 영향을 주기 때문에 최소화할 필요가 있다. 이를 위하여 : ① 특히 지붕에 우레탄 foam을 피복하여 육계사의 단열수준을 높이는 방법 ② 환기전략을 최적화하는 방법, 즉, 윈치커튼을 통한 외부공기 유입시에도 남북(南北)동(棟) 계사의 경우, 오전에는 동쪽의 윈치커튼을 이용하여 유입시키고, 오후에는 서쪽의 윈치커튼을 이용하여 환기량을 조절하는 것이 태양복사에너지를 최대한 이용할 수 있기 때문에 유리할 것으로 판단된다.

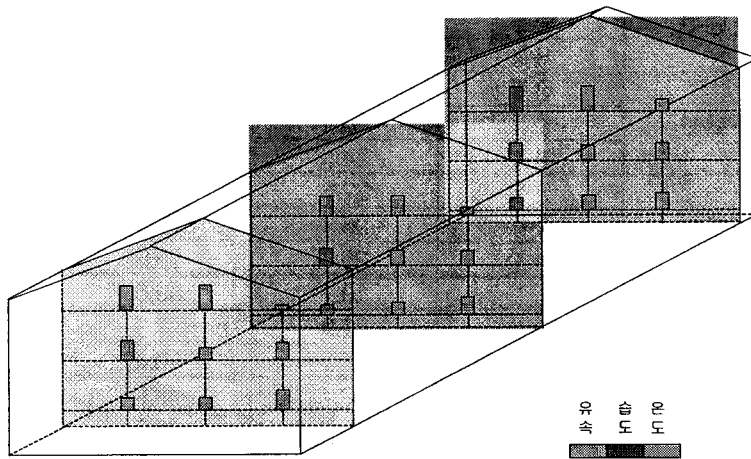
겨울철 외부공기의 영향에 의한 내부벽면의 결로(結露)현상을 방지하기 위해 설치한 온수관의 경우, 여러 가지 작업공정에서 번거로운 부분도 있겠지만, 겨울철 닭의 사육공간 확대를 위해서 바람직하다. 다만, 보일러의 사용에 따른 과도한 난방비를 최소화할 수 있는, 또는 보일러를 사용하지 않으면서 결로현상을 막을 수 있는 방법을 적극적으로 검토해볼 필요가 있다.

본 농가에서 입추(立錐)되지 않은 상태에서 계사 내외부의 온도, 습도를 측정하였으며, 내부의 암모니아 농도를 측정하였다. 그 결과 모든 계사에서 내외부의 온도는 각각 17.0℃, 17.1℃로 차이가 거의 없었으며, 상대습도도 각각 64%, 62%로 거의 비슷하게 나타났다. 내부의 암모니아 농도는 약 2ppm으로 현재 상태로는 비교적 양호한 결

과를 얻을 수 있었다.

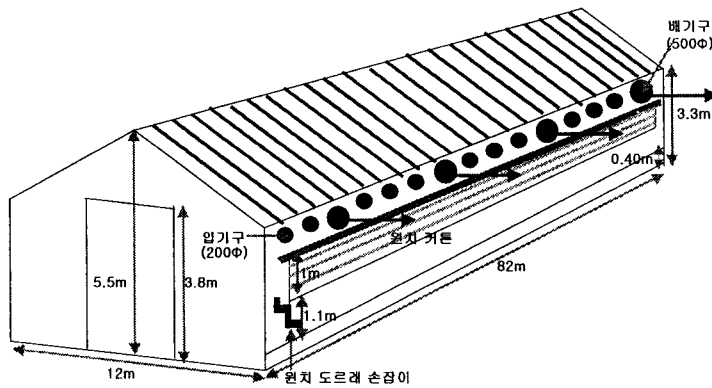
또한 자연환기식 육계사에서 강제환기시스템을 가동하기 않은 상태에서 실내 27점에 대한 유속을 측정된 결과 [표 3-40]과 같은 결과를 얻었다.

전체적으로 육계사 지점별 유속은 0.1 ± 0.05 m/s로 오차범위에서 균일하게 나타났다. 다만 좌측, 중앙 상부에서 유속이 약간 높았으나, 이는 측정오차 범위에 들어 측정오차인지 실제 유속이 높은 지 판단하기 어려웠다. 만약 유속이 크다면, 이는 내외부의 온도차이가 없는 상태에서 상부 원치커튼의 개방에 따른 영향으로 보인다.



<그림 3-48> 제 5실험 계사의 환경 변수 분포

6) 제 6 실험계사



[그림 3-49] 제 6실험 계사의 시설 모식도

- 환기시스템 :
 [여름] 윈치커튼_입기, 측벽윈치&굴뚝팬_배기
 [겨울] 주름관_입기, 굴뚝팬_배기
- 일시 : 2002년 10월 18일
- 장소 : 경상북도 상주시 낙동면-육계사 6
- 측정 환경 변수 : 유속

[표 3-41] 제 6실험계사 실내 환경변수분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	전단면	상부	28.1	28.8	28.4
		중부	27.8	28.4	28.2
		하부	27.7	28.0	28.3
	중단면	상부	27.6	28.1	28.1
		중부	26.6	27.6	27.3
		하부	24.8	27.3	26.8
	후단면	상부	27.6	27.7	27.5
		중부	26.8	27.3	27.3
		하부	25.7	26.5	26.9
습도 (%)	전단면	상부	50.1	49.6	50.8
		중부	51.9	21.9	50.8
		하부	51.2	50.4	50.4
	중단면	상부	49.4	48.9	46.0
		중부	50.0	49.7	48.4
		하부	49.3	50.5	51.4
	후단면	상부	47.4	46.1	46.6
		중부	46.1	47.4	47.9
		하부	46.6	46.7	48.1
유속 (m/s)	전단면	상부	0.2	0.15	0.1
		중부	0.1	0.12	0.1
		하부	0.1	0.2	0.06
	중단면	상부	0.2	0.1	0.1
		중부	0.1	0.2	0.08
		하부	0.1	0.3	0.3
	후단면	상부	0.2	0.1	0.1
		중부	0.1	0.1	0.1
		하부	0.1	0.09	0.05

* 평균온도 : 27.4±0.87°C ; 평균상대습도 : 47.9± 5.5%; 평균유속 : 0.13±0.06%

○ 공기환경평가 : ○ 본 농가도 경북 상주지방의 다른 농가와 마찬가지로 겨울철 처마 주름관 (Φ200mm)을 통한 입기시 공기의 흐름에 대한 제어는 현실적으로 어려움

이 많다. 왜냐하면 겨울철에는 배기팬을 통한 최소환기율을 적용하기 때문에 실내·외 정압차가 낮아 입기제트가 낙하할 가능성이 높다.

그러므로 최소환기율 적용시:

- ① 주름관 입기구의 개도(開度:openess)를 조절할 수 있는 장치를 하거나,
- ② 주름관에 개폐장치를 하여 간헐적(일부 입기구 폐쇄, 일부 입기구 개방)하여 적정 유속으로 기존 공기와의 급속 혼합을 유도한다.
- ③ 또는 아예 주름관 처마 입기구를 완전 폐쇄하고 윈치커튼의 개도를 적절히 조절하거나, 누입공기를 입기공기화하는 방법을 검토할 수 있다.

○ 여름철의 실내 온도제어를 위해서 터널환기를 행하는 경우에는 닭의 생주(生住)영역에서의 유속을 증가시켜 체감온도 저하를 유발할 수 있는 시스템을 구축하여야 한다. 본 농가에서 출구벽에 대형팬을 이용하여 여름철 터널환기를 행할 경우, 이론적으로 각각의 3개동에서 팬을 8개, 6개, 4개를 설치하여 가동하였을 경우에 질량보전이 법칙에 의해 약 0.87m/s, 1.2m/s, 0/84m/s의 유속을 구할 수 있다. 보다 높은 유속을 얻기 위해서는 상부에서 하부로 내려진 일정 간격의 중간 비닐 차단막을 설치하여 횡단면적을 줄임으로써 유속을 높이는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

농가 현장환경분석 당시 닭이 입추되어 23일령이 지난 상태에서 계사 내외부의 온도, 습도를 측정하였으며, 내부의 암모니아 농도를 측정하였다. 내부의 암모니아 농도는 약 10ppm으로 현재 상태로는 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

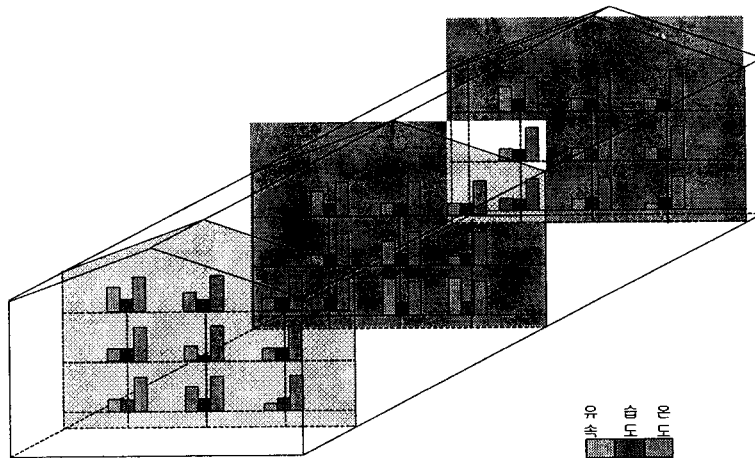
또한 자연환기식 육계사에서 지붕 강제환기시스템을 가동한 상태에서 실내 27점에 대한 온습도 및 유속을 측정한 결과 [표 3-41]과 같은 결과를 얻었다.

온도분포의 경우, 열부력에 의하여 상부가 하부보다 약 1℃ 정도에서 낮게 나타났으나 닭의 생육에 영향을 미칠 정도는 아니라고 판단되었으며, 비교적 만족할 만한 온도분포를 나타내는 것으로 분석되었다. 중앙면 좌측과 우측에 비해서 중앙이 온도가 느끼기 어려울 정도로 약간 높게 나타났다. 이는 외부의 공기유입이 측벽을 통해서 유입되었기 때문으로 판단되며 전체적으로 비교적 균일한 온도 분포를 나타내었다.

습도(濕度)의 경우, 전체적으로 온도와 분포형태가 역(逆)으로 나타났다. 이는 공기 내 절대 수증기량은 일정하지만, 온도가 차이에 따른 상대습도의 차이로 판단된다. 따라서 온도의 제어는 특별한 가습(加濕)이나, 감습(減濕)이 없는 상황에서는 상대습도의 제어와 동시에 이루어질 수 있다고 생각된다.

유속(流速)분포는 가을철 중간단계 환기로서 유속은 그리 높지 않았으며, 전체적으로 약 1m/s로 비교적 안정적인 형태를 보이고 있었다. 상하부 단면을 비교하면 상부면이 약간 높게 나타났으며, 이는 지붕배기팬의 영향으로 판단되지만, 영향을 미칠 정도는 아니라 판단된다.

암모니아 농도는 중앙단면(M), 중앙면(M), 중부(M) 지점에서 측정하였으며, 측정결과 10ppm이 검출되었다. 이러한 결과는 환기에 의한 실내환경제어가 적절히 이루어지고 있다는 것을 의미하며, 본 실험에 이용한 육계사의 환기 전략에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.



[그림 3-50] 제 6실험 육계사의 환경 변수 분포

7) 제 7 실험계사

○ 환기시스템 :

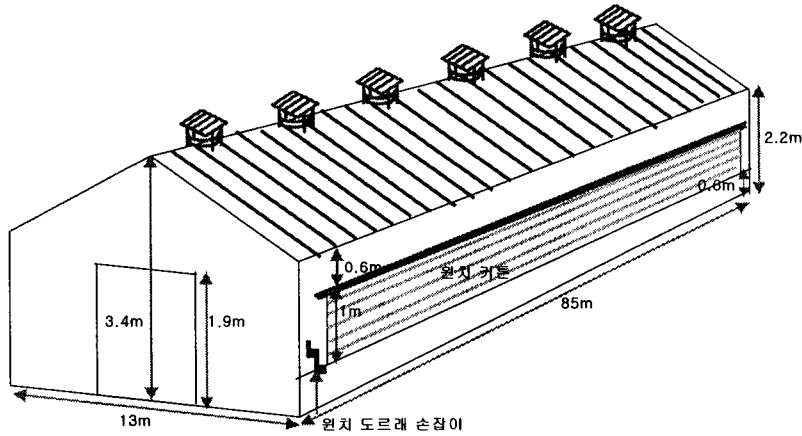
[여름] 음압식 강제 환기, 원치커튼_입기, 후면벽팬_배기

[겨울] 음압식 강제 환기, 원치커튼_입기, 굴뚝팬_배기

○ 일시 : 2002년 11월 20일

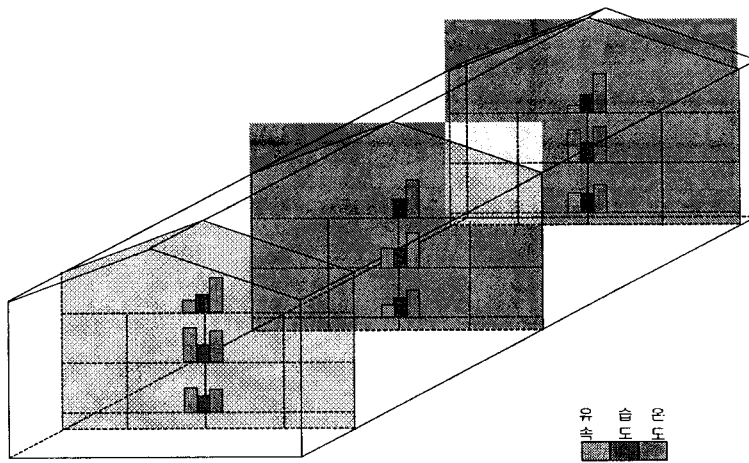
○ 장소 : 강원도 양구군 남면- 육계사 7

○ 측정 환경변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 아민기 화합물 농도



[그림 3-51] 제 7 실험 육계사의 시설 모식도

○ 공기 환경분석 : 온도가 대체로 낮은 편이지만, 온도의 표준 편차가 작은 편이고, 습도가 적절하면서도 균일해서, 환경이 우수한 상태의 계사로 볼 수 있으나, 역시 암모니아의 농도가 높고, 아민기 화합물의 농도가 높아서, 상부의 집적된 오염공기가 제거 되지 못하고 있었다. 이는 굴뚝팬의 단점이며, 상층공기가 빠져나갈 배기구가 없다는 것 역시 문제점이라 할 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로는 슬롯-인렛의 사용을 들 수 있는데, 슬롯-inlet을 설치하여, 높은 위치의 입기를 실시하면, 열부력의 영향으로 상층부 공기와 혼합하여, 침강하게 되므로, 상층부의 공기를 적절하게 제거할 수 있게 된다.



[그림 3-52] 제 7 실험 계사의 환경 변수 분포

[표 3-42] 제 7 실험 계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	중앙
온도 (℃)	전단면	상부	14.1
		중부	12.8
		하부	9.4
	중단면	상부	15.2
		중부	14.2
		하부	11.0
	후단면	상부	15.6
		중부	14.3
		하부	11.4
습도 (%)	전단면	상부	72.0
		중부	70.2
		하부	68.7
	중단면	상부	75.0
		중부	76.1
		하부	77.0
	후단면	상부	74.6
		중부	77.7
		하부	76.2
유속 (m/s)	전단면	상부	0.05
		중부	0.14
		하부	0.1
	중단면	상부	0
		중부	0.08
		하부	0.05
	후단면	상부	0.03
		중부	0.13
		하부	0.08
NH ₃ (ppm)	7		
R-NH ₂ (ppm)	12		

○ 평균 온도 : 13.11±2.10 ℃ ; 평균 상대습도 : 74.17±3.15% ; 평균 유속 : 0.07±0.05m/s

8) 제 8 실험계사

○ 환기시스템 :

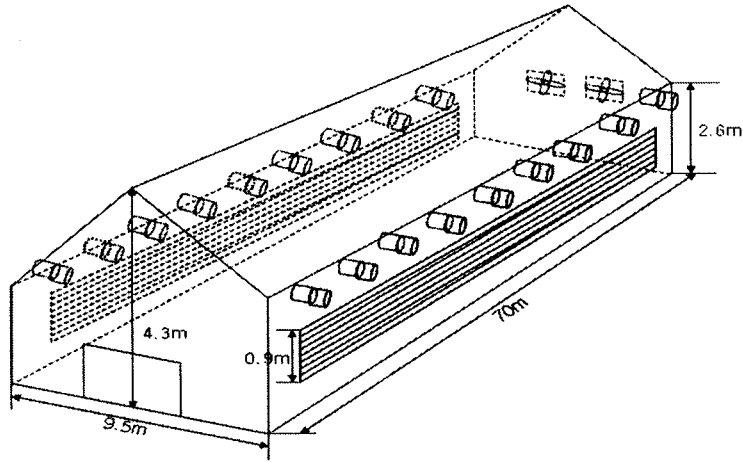
[여름] 파이프 & 윈치커튼_입기, 후면 벽팬_배기 - 최대환기율 적용

[겨울] 파이프 & 윈치커튼_입기, 후면 벽팬_배기 - 최소환기율 적용

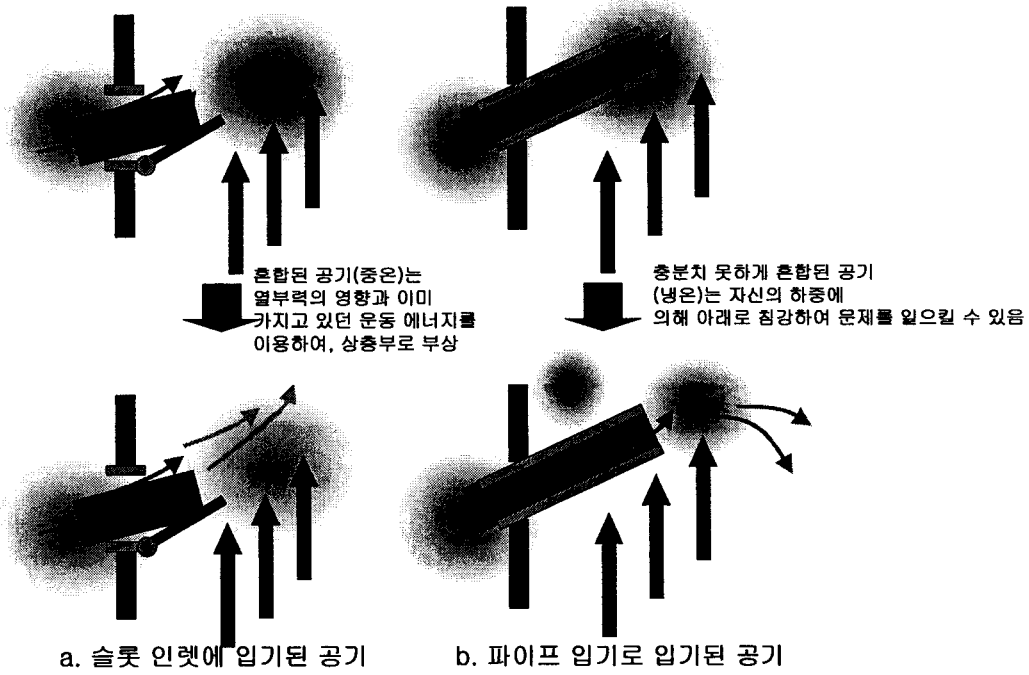
○ 일시 : 2002년 11월 20일

○ 장소 : 강원도 양구군 남면_육계사 8

○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 아민기 화합물 농도



[그림 3-53] 제8 실험 육계사 환기시설배치도



[그림 3-54] 제 8 실험계사 환기시설배치도

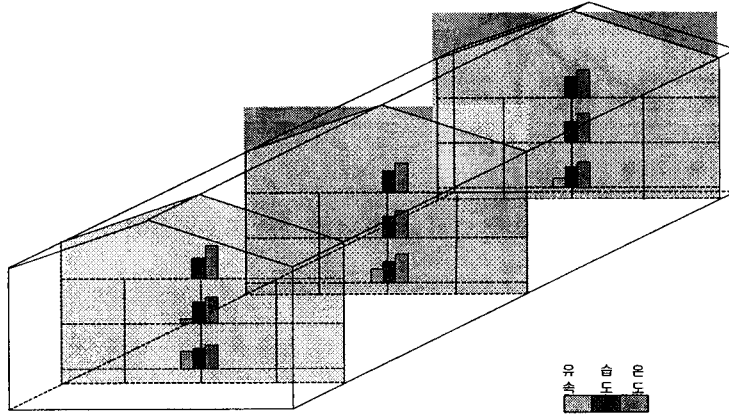
[표 3-43] 제 8 실험 계사 실내의 환경 변수분포

변수	단면별	위치별	중앙
온도 (°C)	전단면	상부	25.4
		중부	23.3
		하부	21.0
	중단면	상부	25.7
		중부	24.1
		하부	23.6
	후단면	상부	24.6
		중부	23.5
		하부	22.8
습도 (%)	전단면	상부	90.5
		중부	94.3
		하부	90.5
	중단면	상부	92.1
		중부	95.2
		하부	92.6
	후단면	상부	93.3
		중부	92.9
		하부	91.5
유속 (m/s)	전단면	상부	0
		중부	0.02
		하부	0.08
	중단면	상부	0
		중부	0
		하부	0.06
	후단면	상부	0
		중부	0
		하부	0.04
NH ₃ (ppm)			12
R-NH ₂ (ppm)			32

* 평균 온도 : 23.78±1.42°C; 평균 상대습도 : 90.54±1.60%; 평균유속 : 0.02±0.03m/s

○ 공기 환경분석 : 온도환경은 매우 쾌적한 편이지만 습도가 지나치게 높고 유속은 낮다. 습도의 문제는 계사의 실험일이 비가 오는 날이라 있을 수 있는 일이었으나, 환기량을 너무 적어, 실내에 분진을 적절히 희석시키지 못하고 있었다. 또한 상부 공기를 제거할 수 있는 배기구가 존재하지 않아, 암모니아의 농도가 상대적으로 높게 분석되었다. 이는 파이프 입기로 충분한 면적의 입기구를 확보하지 못한 데서 일어날 현상으로 이해된다. 또한 입기의 jet momentum이 약해 혼합이 제대로 일어나지 못하고 유입공기가 낙하하여 냉기류를 유발하였다. 파이프 입기를 슬롯-inlet입기로

교체하기를 권장하며, 상층부에 후면벽팬을 최소 가동시킬 필요가 있다. 마찬가지로 아민기 화합물(악취물질)의 농도가 높아, 문제가 되고 있었으며, 암모니아의 제거와 같은 방법으로, 제거가 가능할 것으로 보인다.



[그림 3-55] 제 8 실험 계사의 환경 변수 분포

13) 제 9 실험계사

○ 환기시스템 :

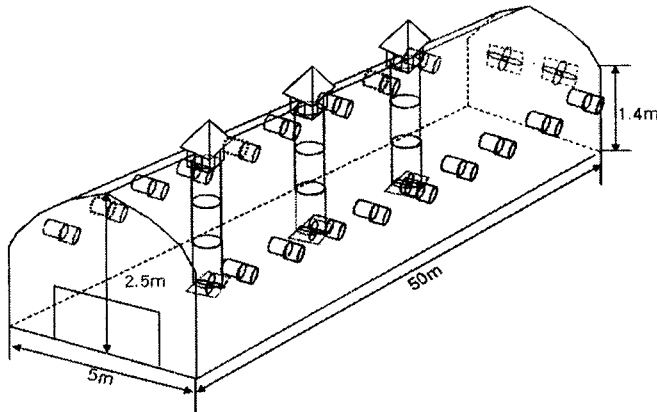
[여름] 파이프_입기, 후면 벽팬_배기

[겨울] 파이프_입기, 굴뚝팬_배기

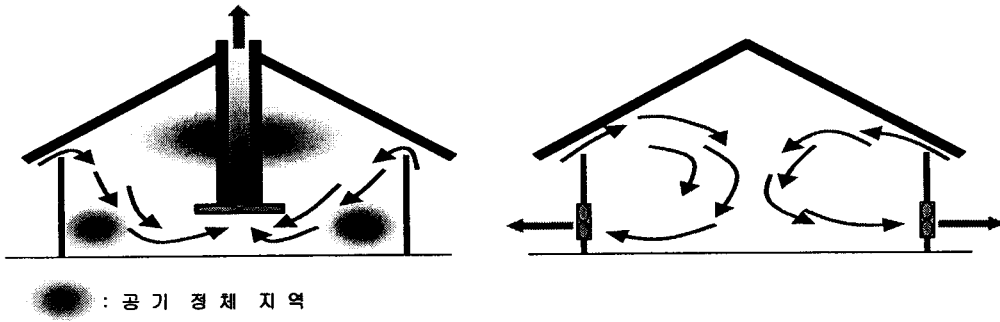
○ 일시 : 2002년 11월 20일

○ 장소 : 강원도 양구군 남면_육계사 9

○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 아민기 화합물 농도

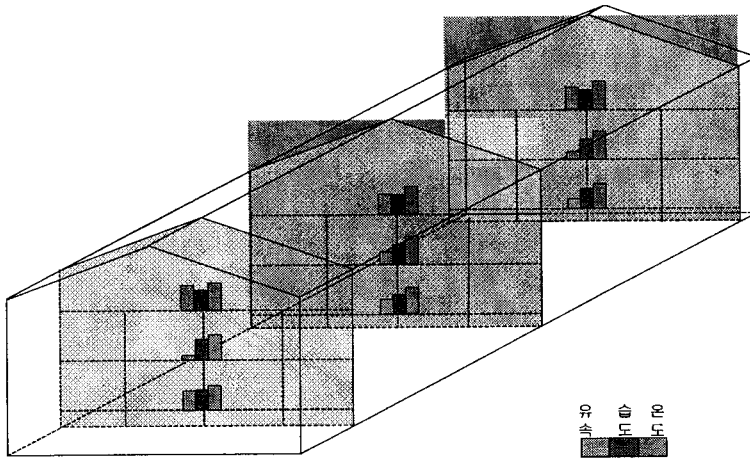


[그림 3-56] 제 9실험 계사의 시설 모식도



[그림 3-57] 굴뚝팬환기와 측벽팬 환기의 기류형태

○ 공기 환경분석 : 굴뚝팬을 사용하여 온/습도의 표준편차가 작은 값을 가지고 있었으나, 암모니아와 아민기 화합물의 농도가 높고, 유속이 지나치게 작다는 단점을 가지고 있었다. 이는 굴뚝팬을 설치한 농가의 공통된 문제점으로 판단되며, 굴뚝팬을 사용할 경우 용마루 환기를 병행하는 것이 옳을 것으로 판단된다. 또한 입기구의 수가 계사의 크기에 비해 총 62개로 너무 많다는 것도 문제가 되었으며, 전체적으로 환기량이 작고 유속이 느린 것으로 판단되었다. 제 9실험계사 역시 입기에 불리하고 갑작스러운 냉기류 침강을 일으킬 수 있는 파이프 입기보다는, 상층부의 공기 제거에 적합하고, 충분히 혼합된 공기가 입기되는 슬롯 inlet 사용이 권장된다.



[그림 3-58] 제 9실험계사의 위치별 환경변수 분포

[표 3-44] 제 9 실험 계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	중앙
온도 (°C)	전단면	상부	22.1
		중부	20.5
		하부	19.8
	중단면	상부	22.3
		중부	22.2
		하부	21.3
	후단면	상부	23.1
		중부	22.6
		하부	20.3
습도 (%)	전단면	상부	81.6
		중부	82.6
		하부	79.6
	중단면	상부	78.6
		중부	77.6
		하부	78.1
	후단면	상부	80.4
		중부	82.7
		하부	78.9
유속 (m/s)	전단면	상부	0.10
		중부	0.02
		하부	0.08
	중단면	상부	0.08
		중부	0.05
		하부	0.06
	후단면	상부	0.09
		중부	0.03
		하부	0.04
NH ₃ (ppm)			10
R-NH ₂ (ppm)			22

* 평균 온도 : 21.58±1.15°C, 평균 상대습도 80.0±1.92%, 평균유속 0.06±0.03m/s ;

10) 제 10 실험계사

○ 환기시스템 :

[여름] 원치커튼_입기, 후면 벽팬_배기

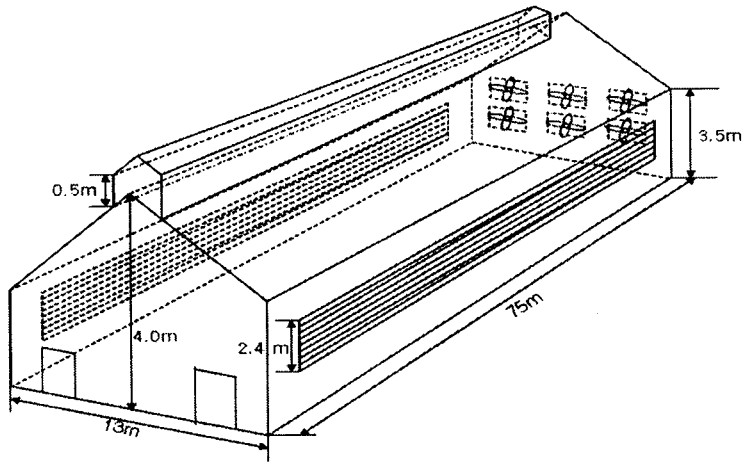
[겨울] 원치커튼_입기, 용마루 and/or 원치커튼_배기

○ 일시 : 2002년 11월 20일

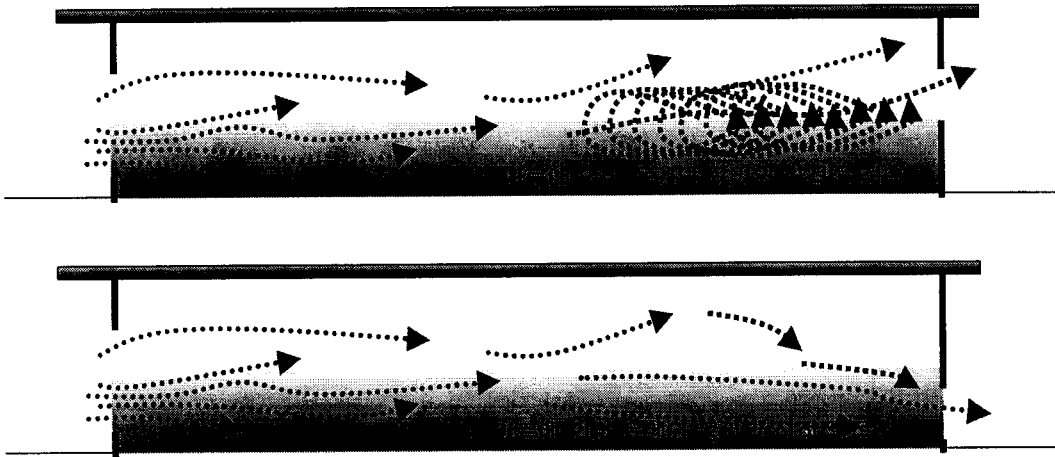
○ 장소 : 강원도 양구군 양구읍_산란계사 10

○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 아민기 화합물 농도

○ 외부기온 : 2.4℃, 상대습도 : 75.1%



[그림 3-59] 제 10 실험 계사의 시설 모식도



[그림 3-60] 상부팬을 이용한 배기와 하부팬을 이용한 배기

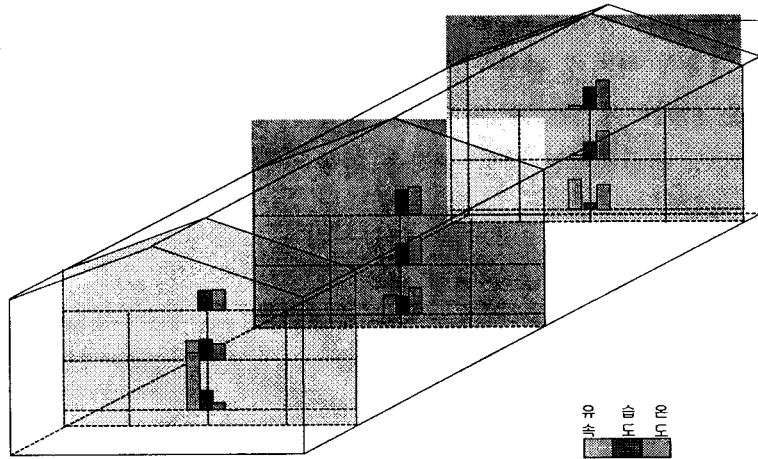
○ 공기 환경분석 : 온도가 지나치게 낮았고, 낮은 온도에 비해 온도의 표준 편차가 커서, 온도환경이 바람직하지 않았다. 그러나 설치된 용마루 환기량에 의해, 암모니아와 아민기 화합물의 농도가 낮아서, 공기 질환경은 바람직한 것으로 보였다. 습도 환경역시 상대습도로 보면 많아 보이지만, 실제로 온도가 낮은 것을 감안한다면, 그다지 높은 습도가 아니라는 것을 알 수 있다. 용마루의 개방 정도가 작음에도 불구하고, 낮은 온도를 유지한 것은 용마루 환기의 탓이 아니며, 환기율이 계사의 규모와 육계의

수수(首數)에 비해 많기 때문으로 판단되었다. 또한 후단면 하단층의 유속이 빠른 편인 것을 볼 때 겨울철 환기에 하단부 환기를 강하게 하는 것은 닭에게 공기 분류와의 직접적인 접촉을 야기하여 닭에게 냉기류를 느끼게 하는 원인과 닭의 호흡기의 원인이 될 수 있으므로, 겨울철에는 상단 팬만을 가동하여 환기를 행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

[표 3-45] 제 10 실험 계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	중앙
온도 (℃)	전단면	상부	8.3
		중부	6.5
		하부	2.8
	중단면	상부	9.9
		중부	8.7
		하부	7.3
	후단면	상부	8.8
		중부	6.7
		하부	2.4
습도 (%)	전단면	상부	78.6
		중부	74.5
		하부	74.3
	중단면	상부	70.5
		중부	71.3
		하부	69.2
	후단면	상부	75.3
		중부	79.9
		하부	78.8
유속 (m/s)	전단면	상부	0
		중부	0.15
		하부	0.46
	중단면	상부	0
		중부	0.06
		하부	0.16
	후단면	상부	0.03
		중부	0.03
		하부	0.24
NH ₃ (ppm)	5		
R-NH ₂ (ppm)	10		

* 평균온도 : 6.82±2.63℃; 평균 상대습도 : 74.71±3.86%, 평균 유속 : 0.13±0.15%



[그림 3-61] 제 10 실험 계사의 환경 변수 분포

○ 여름철 환기전략

여름철에는 측벽 윈치커튼을 개방하여 환기를 행하였으며, 여름철에는 윈치커튼을 밀폐하고 입구 반대편의 팬(Φ75*5개, Φ120*2개)을 이용하여 터널형 환기를 행하고 있었다. 이 과정에서 지붕의 환기용 용마루 윈치커튼을 개방하여 입기(入氣)가 이루어지도록 하였다. 강원도 지방은 여름철에는 상대적 저온으로 방서대책은 그리 문제되지 않는다. 만약 여름철에는 터널형 환기를 행하고자 할 때는 용마루 윈치커튼을 밀폐하여 실내유속을 높일 필요가 있다.

○ 겨울철 환기전략

겨울철에는 측벽윈치커튼은 닫고 낮에는 전면(前面) 출입구와 출구벽의 문을 열고 용마루 윈치커튼을 개방하여 환기를 행하였다. 야간에는 모든 개구(開口)를 닫고 공기교환은 누입(漏入:infiltration)에 의하였다. 강원도의 경우, 겨울철 저온으로 인한 방한(防寒)대책이 필요하다. 그러나 겨울철에 용마루 윈치커튼의 개방시 실내 가온공기의 배출로 온도가 낮아지므로 용마루 윈치커튼을 닫고, 겨울철 최소환기율 출구배기팬을 가동하는 것이 바람직하다.

산란계사 내부의 온도분포는 출입문이 있는 전면(前面)과 후면(後面)의 온도편차는 거의 없었으나, 중면(中面)에서는 약 1~2℃ 높게 나타났다. 이는 공기의 흐름이 정체되어 일어난 현상으로 중계팬(relay fan)이 필요할 수도 있다. 중단면의 유속(air speed)이 다른 단면보다 낮게 측정된데서도 알 수 있다. 본 농장에서 겨울철에는 출입

문과 용마루 원치커튼을 개방하여 열부력에 의한 자연환기를 유도하고 있었다. 계사의 실내온이 약 6.8℃로 산란계의 임계(臨界) 하한온도범위에 있었다. 이러한 온도대의 유지는 닭의 사료효율 저하 등 생산효율이 저하되므로, 용마루 원치커튼의 개도(開度)조정 등 환기전략을 재고(再考)할 필요가 있다.

상대습도의 경우, 중면이 전면과 후면보다 약 3~8% 정도 낮게 계측되었다. 이는 외부의 저온공기의 유입과정에서 발생한 것으로 판단되며, 내부와 외부의 전체적인 습도비는 같은 것으로 평가된다. 내부의 평균 상대습도는 74.7%로 비교적 양호한 수준을 유지하고 있었지만, 저온대에서의 상대습도는 성육에 큰 의미를 주지 못하기 때문에 온도제어를 위한 환기전략의 구축이 필요하다.

유속(air speed)의 경우, 열부력에 의하여 하부가 상부에 비해서 높게 나타났으며, 전면과 후면이 중면보다 높게 나타났다. 전체적으로 평균 유속은 0.16m/s로 측벽원치커튼을 밀폐한 상태에서도 용마루 모니터 원치커튼의 개방으로 내부의 공기흐름이 상당히 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다. 그러므로 전술(前述)한 바와 같이 겨울철에 최소환기율 적용을 위하여 용마루 모니터의 원치커튼의 개도를 적정 조정할 필요가 있다.

실내의 암모니아의 농도는 5ppm 정도로 나타났으며, 이는 외부의 공기 유입이 많기 때문에 실내의 오염정도는 낮은 것으로 판단된다.

11) 제 11 실험계사

○ 환기시스템 :

[여름] 원치커튼_입기, 후면 벽팬_배기

[겨울] 원치커튼_입기, 용마루 and/or 원치커튼_배기

○ 일시 : 2002년 11월 20일

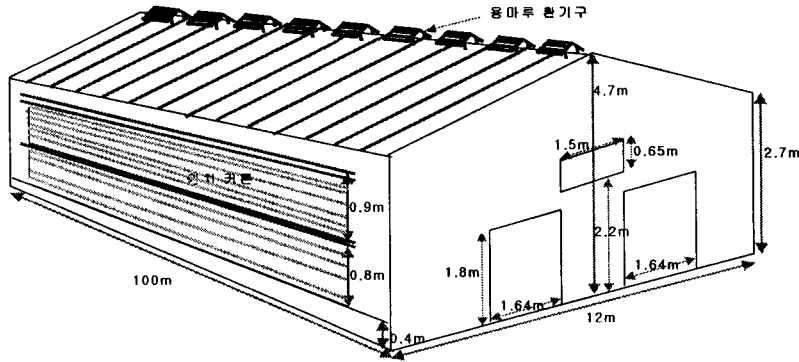
○ 장소 : 강원도 화천군 화천읍_산란계사 11

○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 아민기 화합물 농도

○ 기온 1.4℃, 상대습도는 82.9%

○ 공기 환경분석 : 온도의 표준편차가 온도에 비해 크고, 온도는 낮은 편이다. 특히 하부의 온도가 낮은 편인데, 이는 원치커튼의 위치가 낮기 때문으로 판단된다. 원치 커튼의 높이가 0.5m인 것을 생각하면, 당연한 결과라고 할 수 있으며, 원치 커튼의 위치를 올릴 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한, 용마루 배기구의 영향으로 저온현상

이 나타나는데, 겨울철 용마루 배기는 갑작스러운 냉기류 침강을 야기하여 육계에 피해를 입힐 가능성이 있으므로, 밤에는 사용을 자제하는 것이 바람직하며, 용마루 배기구의 배기의 의지하기 보다는 슬롯 인렛을 사용하여, 상층공기와의 혼합으로, 상층부 공기를 제거하는 것이 유리하다.



[그림 3-62] 제 11 실험 계사 실내의 환경 변수

○ 여름철 환기전략

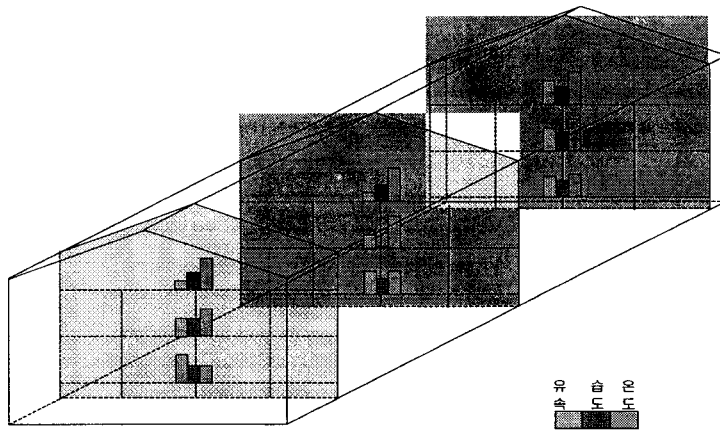
[그림 3-62]와 같이 여름철에는 측벽 윈치커튼을 개방하여 자연환기를 행하였으며, 동시에 출구팬(φ75*1개)을 이용하여 중간의 3~4개의 중계팬이 계사길이방향으로 설치되어 터널식 환기를 행하고 있었다. 여름철 환기의 경우, 전술한 환기전략이 비교적 적절할 것으로 생각되지만, 여름철 방서(防暑)대책 과정에서 계사내부의 유속 형성에 어려움이 있을 것으로 생각된다. 따라서 터널식환기를 유도하기 위해서 출구벽에 팬 용량을 증가시켜야 한다. 현실적으로 시설의 재투자에 어려움이 있을 경우에는 공기의 유속 증가를 위해서 중간에 설치된 중계팬 용량을 증가시킬 필요가 있다.

○ 겨울철 환기전략

겨울철에는 측벽윈치커튼을 닫고, 용마루 환기구(vent)를 개방하여 내부의 오염공기를 배기(排氣)하도록 되어 있다. 강원도의 경우, 겨울철 극저온 때문에 특별히 방한 대책이 필요하다. 전체적인 시설의 단열이 불충분한 것으로 나타났으며, 지붕 환기구의 경우, 가온된 공기의 과다한 손실을 유발할 수 있기 때문에 밀폐하는 것이 바람직하며, 이때 겨울철 최소환기율을 고려한 입구반대편의 환기팬을 가동하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 현장조사 시(時) 외기온이 0℃ 정도로 비교적 추운 겨울

철 날씨가었으며, 계사 내 계분의 처리가 거의 일어나지 않아 악취가 심각한 수준이었다. 따라서 본 농가에서는 계분의 처리에 대한 보다 근본적인 대책의 요구된다.

산란계사 내부의 온도분포는 출입문이 있는 전면과 후면이 중면(中面)보다 약 1~2℃ 정도 낮게 나타났으나, 이는 공기흐름의 완속(緩速)때문으로, 상부가 하부보다 약 3~4℃ 정도 높게 나타나는 것은 열부력 때문으로 이해된다. 또한 용마루 배기구를 통한 가온(加溫)공기의 급속(急速)배기는 실내온도 저하를 가속시킬 것으로 판단된다. 계사 내부의 평균온도가 약 12℃로 일반적으로 인식되는 적온대보다 낮게 측정되었다. 따라서 겨울철의 경우, 본 농가에서는 측벽 원치커튼을 통한 공기누입을 최소화하고 용마루 배기구의 개도(開度)를 감소화하여 열손실을 최소화하면 실내 적정온도 유지에는 어려움이 없을 수도 있다.



[그림 3-63] 제 11 실험계사의 환경 변수 분포

상대습도의 경우, 전면과 후면이 중면에 비해서 약 5% 정도 높게 측정되어 있다. 이는 외부의 저온공기의 출입구의 누입 등으로 내부로 유입과정에서 발생한 것으로 판단되며, 내부와 외부의 전체적인 습도비는 비슷한 것으로 평가된다. 내부의 평균상대습도는 74%로 비교적 양호한 수준을 유지하고 있었지만, 저온대에서의 상대습도는 생육에 큰 의미를 주지 못하기 때문에 온도제어를 위한 환기전략의 구축이 필요하다.

공기유속의 경우, 전, 후면이 중면보다 약간 높게 나타났으며, 편차는 거의 없을 정도이었다. 이러한 유속형성은 열부력 등에 의해 형성된 것으로 판단되며, 평균 유속은 0.08m/s로 측벽원치커튼을 폐쇄한 상태에서도 용마루배기구의 개방으로 열부력에 의한 상향류(上向流)가 형성된 것으로 이해된다. 따라서 앞에서도 언급하였듯이 겨울철

의 최소환기율을 효율적으로 적용하기 위해서 측벽윈치커튼과 출입구의 공기누입과 지붕배기구의 개도를 최소화하는 환기전략 수립이 필요하다.

실내의 아모니아의 농도는 5ppm 정도로 나타났으며, 이는 외부의 공기 유입이 많기 때문에 실내의 오염정도는 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

[표 3-46] 제 11실험 계사 위치별 환경변수 분포

변수	단면별	위치별	중앙
온도 (°C)	전단면	상부	13.4
		중부	11.5
		하부	7.2
	중단면	상부	14.7
		중부	14.1
		하부	10.1
	후단면	상부	14.0
		중부	13.8
		하부	9.8
습도 (%)	전단면	상부	75.6
		중부	77.8
		하부	73.8
	중단면	상부	71.5
		중부	10.5
		하부	68.4
	후단면	상부	77.0
		중부	77.4
		하부	71.2
유속 (m/s)	전단면	상부	0.04
		중부	0.08
		하부	0.12
	중단면	상부	0.04
		중부	0.06
		하부	0.1
	후단면	상부	0.1
		중부	0.1
		하부	0.09
NH ₃ (ppm)			5
R-NH ₂ (ppm)			12

* 평균 온도 : 12.07±2.56 °C, 평균 상대습도 : 67.02±21.44%, 평균유속 : 0.08±0.03%

12) 제 12실험계사

○ 계사시스템 :

[여름] 원치커튼_입기, 굴뚝팬_배기

[겨울] 파이프입기구_입기, 굴뚝팬_배기

○ 일시 : 2003년 5월 22일

○ 장소 : 경기도 안성시 일죽면_육계사 26

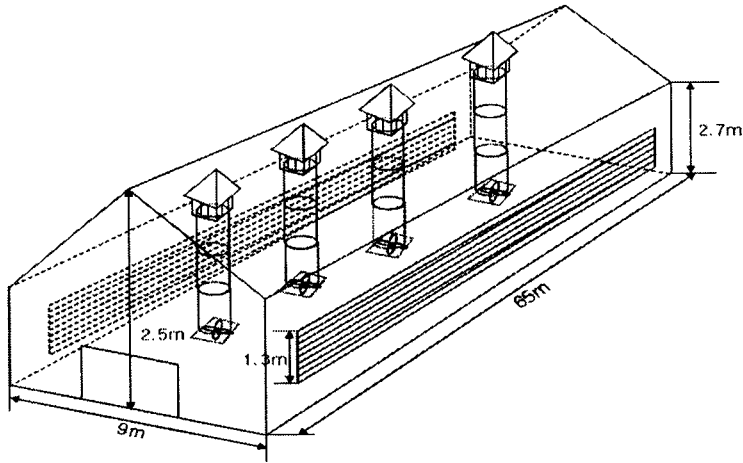
○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도

[표 3-47] 제 12실험 계사 실내의 환경 변수

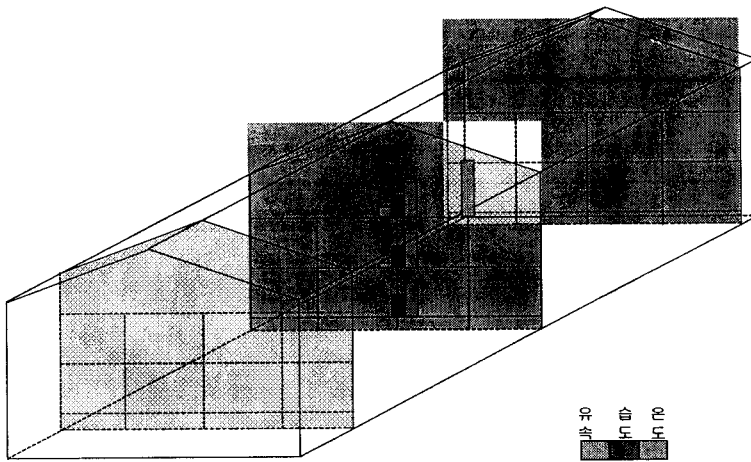
변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (℃)	중단면	상부	-	28.3	-
		중부	-	28.0	-
		하부	-	27.6	-
습도 (%)	중단면	상부	-	88.1	-
		중부	-	87.6	-
		하부	-	89.2	-
유속 (m/s)	중단면	상부	-	0.20	1.14
		중부	-	0.10	0.01
		하부	-	0.00	0.00

* 평균 온도 : 27.97 0.35℃; 평균 상대습도 : 88.30 0.82% ; 평균 유속 : 0.24 0.45%

○ 공기 환경분석 : 실험 계사는 굴뚝팬(chimney fan)을 이용한 종류환기 시스템으로써 여름에는 원치커튼을 이용하여 입기하고, 겨울철에는 처마 파이프 입기관을 이용하여 입기한다. 계사의 크기가 비교적 작아 계사 내부 환경변수가 비교적 균일하였으며, 온도도 외부기온이 25.2℃에 비해서 그리 높지 않아, ($\Delta t_{dbmax}=3.1℃$)상당히 내부 환경이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 하단부에서 유속이 거의 없고, 상층부에는 암모니아(NH₃) 농도가 무려 75ppm에 달해서, 상층부와 하층부에 환기가 거의 안된다는 것을 알수 있었다. 실제로 굴뚝팬은 하단부의 공기를 강하게 빨아들이는 효과가 가지고 있지만, 그 범위가 넓지 않아, 굴뚝팬 부근의 공기 이외에는 거의 유동을 일으키지 않으며, 상층부의 공기를 흡입하는 효과가 거의 없어, 상층부에 오염된 공기를 거의 제거하지 못한다. 게다가 본 실험계사는 공기의 혼합에 치명적인 단점을 지니는 파이프 입기관을 사용하여, 상층부의 공기가 거의 혼합되지 못한 채, 하층부로 떨어지게 되어, 상층부에는 오염된 공기가 그대로 남게 된다. 이 오염된 공기는 기온이 내려가면서 침강하여, 육계의 생육과 작업자의 건강에 치명적인 해를 남길 수도 있다.



[그림 3-64] 제 12 실험 계사의 시설 모식도



[그림 3-65] 제 12 실험 계사의 환경 변수 분포

13) 제 13 실험 계사

○ 계사 시설 :

[여름] 원치커튼 and/or 환기창_입기, 용마루_배기 (최대환기율)

[겨울] 원치커튼 and/or 환기창_입기, 용마루_배기 (최소환기율)

○ 일시 : 2003년 5월 31일

○ 장소 : 경상남도 산청군 차황면_육계사 13

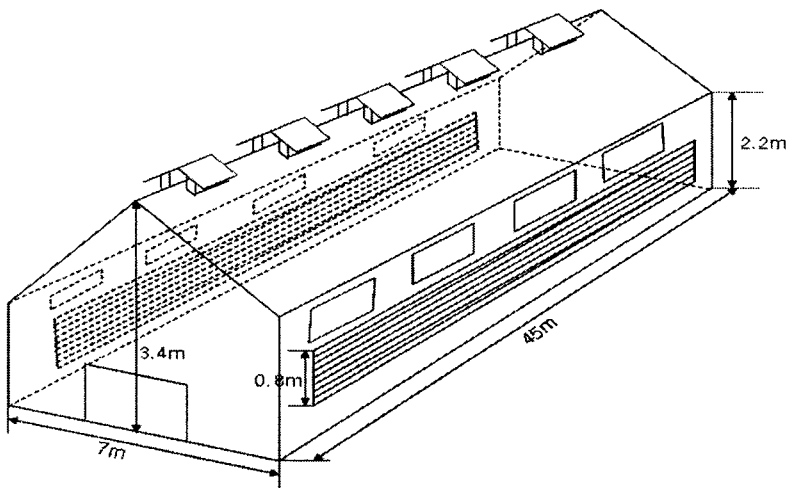
○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도

[표 3-48] 제 13 실험계사 실내의 환경 변수

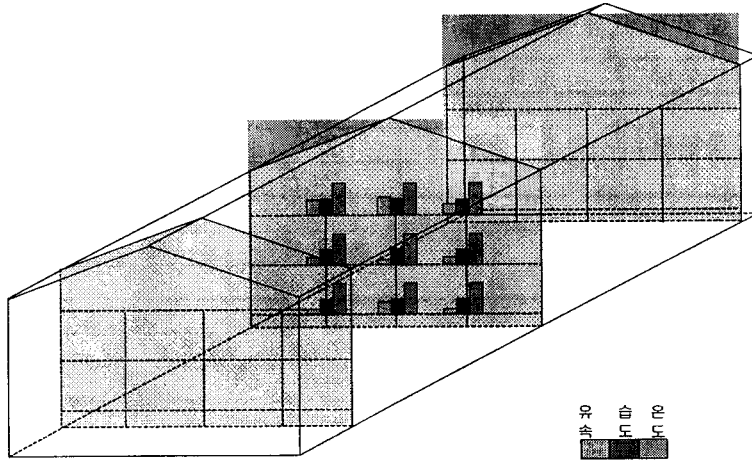
변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	중단면	상부	25.2	24.9	25.3
		중부	25.0	25.0	25.1
		하부	24.7	24.9	24.8
습도 (%)	중단면	상부	63.6	65.3	62.8
		중부	62.5	63.2	61.8
		하부	62.0	62.1	60.7
유속 (m/s)	중단면	상부	0.06	0.07	0.04
		중부	0.03	0.02	0.03
		하부	0.02	0.05	0.02

* 평균온도: $24.99 \pm 0.19^\circ\text{C}$; 평균 상대습도 : $62.67 \pm 1.30\%$; 평균유속 : $0.04 \pm 0.02\text{m/s}$

○ 공기 환경분석 : 본 실험 계사는 전형적인 환기창을 이용한 자연환기 계사이다. 여름 상황에서의 환경변수를 측정하였으며, 산 중턱의 기온이 서늘한 탓으로, 온도의 문제는 별로 없었으나, 호흡기의 발생이 빈번하고, 겨울의 상황에서 난방비의 과다소요가



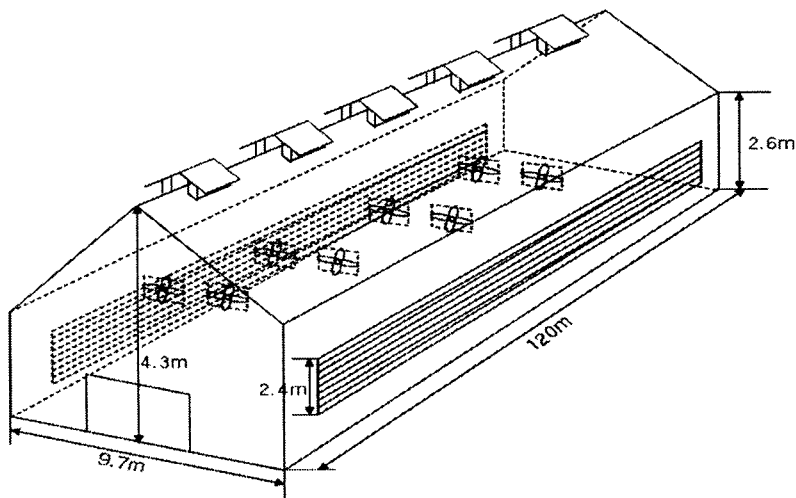
[그림 3-66] 제 29 실험 계사의 시설 모식도



[그림 3-67] 제 29 실험 계사의 환경 변수 분포

14) 제 14 실험계사

- 환기시스템 : [여름] 원치커튼 개방_중개팬_용마루 배기구 /원치커튼 배기
[겨울] 원치커튼 개방_용마루 배기구
- 일시 : 2003년 1월 14일
- 위치 : 경기도 여주군 산란계사-12
- 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 암모니아 집적 농도
- 측정당시 외기상 : 외기온 3.7℃, 외기 상대습도 : 50.2%

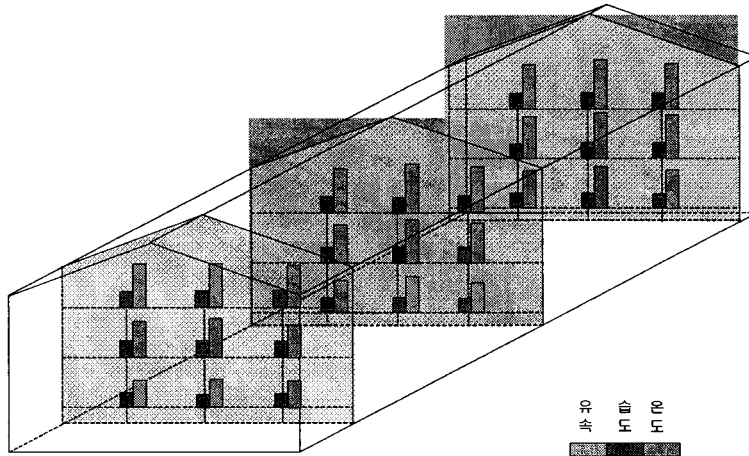


[그림 3-68] 제11실험 계사 환기시스템 및 계사 외내형도

[표 3-49] 제 14 실험계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	전단면	상부	17.5	17.6	16.6
		중부	14.5	15.3	13.0
		하부	10.8	11.4	11.0
	중단면	상부	17.5	20.0	18.3
		중부	15.4	17.8	16.2
		하부	12.8	14.4	11.9
	후단면	상부	17.9	19.9	18.5
		중부	17.2	18.6	17.8
		하부	14.9	16.8	15.5
습도 (%)	전단면	상부	65.6	66.6	66.0
		중부	66.5	67.5	65.6
		하부	60.0	54.8	55.6
	중단면	상부	65.9	66.7	67.2
		중부	64.1	67.6	65.2
		하부	59.3	57.8	58.4
	후단면	상부	62.6	67.3	64.5
		중부	60.4	67.4	62.8
		하부	59.1	60.1	58.7
NH ₃ (ppm)	전단면	5.4			
	중단면	20			
	후단면	19			

* 계사 내 평균 온도 : 15.90 ± 2.67 °C ; 평균 상대습도 : 63.0 ± 4.90%



[그림 3-69] 제 14 실험계사의 환경 변수 분포

○ 공기환경 분석 및 평가 : 온도는 전체적으로 비교적 균일한 분포를 나타내고 있으나 상하부의 온도는 Δt_{dbmax} 가 6.7℃의 차이를 보여 상하 공기 이동, 즉 대류 (convection)이 원활하지 않다는 것을 알 수 있었다. 내부의 평균온도는 16.5℃로서 외부와는 약 13℃의 차이를 보였다. 내부의 건구온도는 사육에 적온에 가까우나 온도 편차가 적지 않아 온도 환경면에서는 균일하다 말하기 힘들다.

겨울철 온도보전을 위하여 과도하게 밀폐하여 암모니아의 수준이 20 ppm에 이르러, 작업환경 및 생육에도 위해(危害)적 환경인 것으로 분석되었다. 그러나 용마루 배기구를 일부 개방할 경우, 열손실이 커거나 냉기류가 역류하여 닭에 냉해로 인한 호흡기 질병을 유발할 수 있으므로 양측벽 윈치커튼을 이용한 환기전략이 바람직한 것으로 판단된다.

15) 제 15 실험계사

○ 환기시스템 :

[여름] 전면, 측벽 슬롯 inlet 입기 - 후면벽 팬 배기(종류(縱流)식) @ 최대환기율

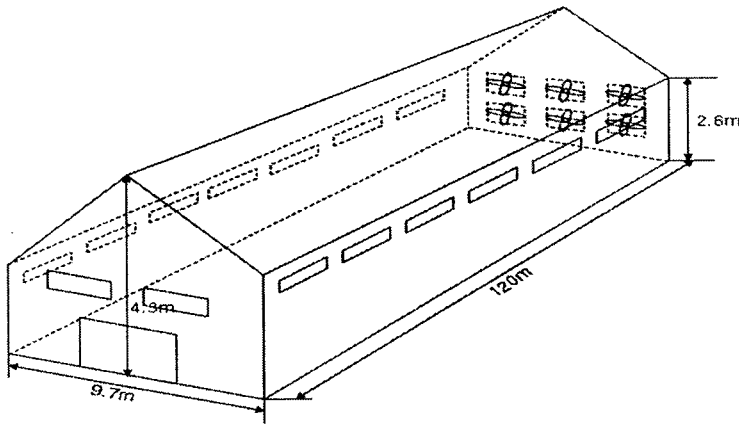
[겨울] 전면, 측벽 슬롯 inlet 입기 - 후면벽 팬 배기(종류(縱流)식) @ 최소환기율

○ 일시 : 2003년 1월 14일

○ 위치 : 경상북도 영주군 장수면 산란계사-13

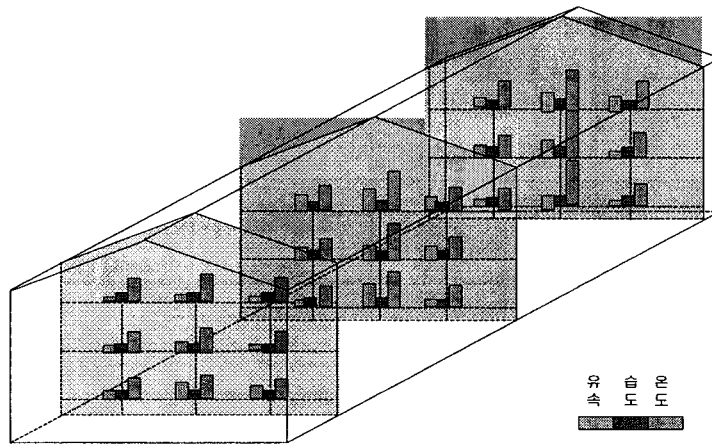
○ 측정 환경 변수 : 건구 온도, 상대습도, 유속, 암모니아 집적 농도

○ 외부 기온 : 4.8℃; 상대습도 : 35.1%



[그림 3-70] 제 15 실험계사 환기시스템 및 계사 외·내형도

○ 공기환경분석 : 제 2계사는 평균 실내온이 $11.11^{\circ}\text{C} \pm 3.3^{\circ}\text{C}$ 으로 온도의 분포가 균일하지 못하다. 상하부의 온도편차는 크지 않으나, 전중후 단면간 온도 편차가 매우 큰 편으로 후단면으로 갈수록 열이 불균일하게 분포되며, 중앙에 열이 집적되는 현상을 보였다. 습도는 외부보다 3~4% 정도 높게 나타나나 낮은 습도로 인하여 분진발생이 많았다. 이는 겨울철 종류(縱流; tunnel식)환기 때문으로 상대적으로 후단면으로 갈수록 열이 집적되고, 유속이 가속되는 현상을 보인다. 그러므로 보다 균일한 공기유동을 위해서는 횡류(橫流; cross환기식)으로 전환하는 것이 더욱 유리할 것으로 보인다. 특히 산란계는 고단케이지가 공기흐름의 방해물 역할을 하여 이런 현상이 두드러진다.



[그림 3-71] 제 15실험 계사의 환경변수 분포

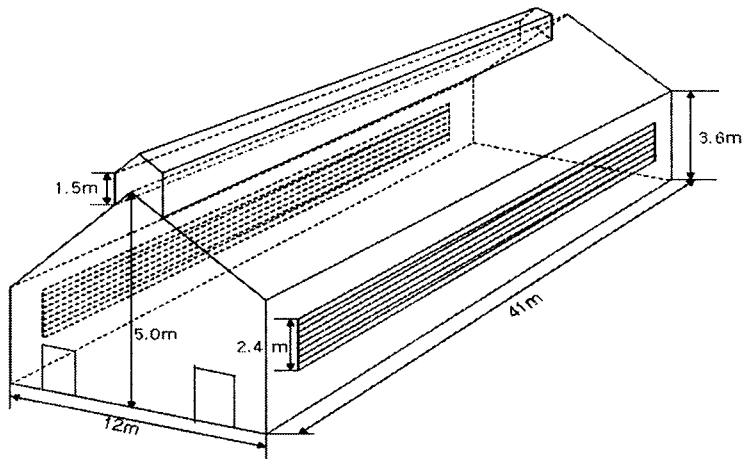
[표-25] 제 15 실험계사 실내의 환경 변수

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	전단면	상부	9.5	11.2	9.7
		중부	8.7	10.3	8.8
		하부	8.5	9.8	8.2
	중단면	상부	9.9	15.8	9.8
		중부	8.9	15.6	9.4
		하부	8.4	14.7	8.8
	후단면	상부	10.7	17.2	11.2
		중부	9.4	19.6	10.2
		하부	8.8	18.1	8.9
습도 (%)	전단면	상부	35.7	36.9	35.1
		중부	35.1	34.9	34.2
		하부	34.2	35.4	33.8
	중단면	상부	35.4	40.0	34.8
		중부	39.6	40.8	37.4
		하부	34.9	38.6	35.2
	후단면	상부	35.6	42.1	37.2
		중부	41.5	43.9	42.8
		하부	38.5	41.9	40.5
유속 (m/s)	전단면	상부	0.06	0.1	0.08
		중부	0.1	0.15	0.08
		하부	0.12	0.24	0.18
	중단면	상부	0.22	0.3	0.18
		중부	0.18	0.21	0.20
		하부	0.09	0.31	0.1
	후단면	상부	0.13	0.27	0.21
		중부	0.18	0.25	0.1
		하부	0.1	0.19	0.08
	측벽 배플 입기구			6.18	
터널식입기구(누입)			2.8		
NH ₃ (ppm)	전단면	0			
	중단면	2			
	후단면	2.5			

○ 온도 : 11.11±3.31°C ; 상대습도 : 37.63±3.08 % , 평균유속 : 0.16±0.07m/s

16) 제 16 실험계사

- 환기시스템 : [여름] 전면(前面)팬 and/or 윈치커튼_입기(入氣), 용마루모니터_배기(排氣)
[겨울] 윈치커튼_ 入氣, 용마루_배기,
- 일시 : 2003년 1월 15일
- 장소 : 경상북도 포항시 흥해읍 산란계사-14
- 측정 환경 변수 : 건구 온도, 상대습도, 암모니아 집적 농도
- 외부기온 : 2.6℃; 외부 상대습도 : 43.6%



[그림 3-72] 제 14 실험계사 환기시스템 및 외형도

○ 공기 환경분석 : 온도가 상대적으로 낮고 온도편차는 적지만, 습도의 편차가 높아 균일한 환경변수분포를 나타내지 못하였다. 공기의 온습도 분포가 안정적인 편이다. 이는 용마루 환기구에서의 침강 공기가 공기의 온도를 전체적으로 내렸기 때문이며, 습도는 안정적인 편이다.

가장 큰 문제로 지적되는 것은, 하부의 기온이 상부의 기온보다 낮아서 역전층이 형성되어, 상하 대류가 잘 일어나지 않는 것이다. 그러한 경향은 후단면으로 갈수록 강해지는데, 그와 함께 중단면과 후단면의 암모니아가 집적되는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 막기 위해서, 용마루를 설치하였음에도 불구하고, 산란계사인 까닭에 하부의 열부력이 충분하지 못해, 후단면의 오염된 공기를 효과적으로 제거하고 있지 못하다.

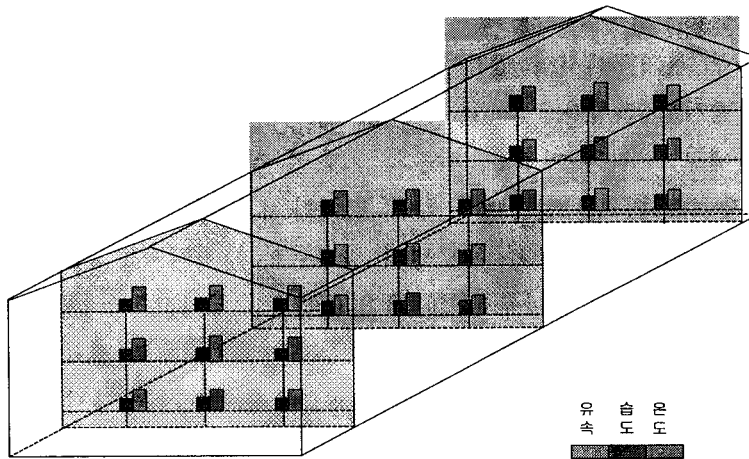
이러한 형태의 계사에서 일어나는 문제를 해결하기 위해서는 후단면의 집적된 공기를 제거해 주기 위해, 후면 벽팬을 최소환기율로 가동해 주는 방안과, 가금의 사육을

늘리는 방안이 있는데, 가금의 밀사가, 스트레스를 동반하고, 비위생적인 환경을 조성하는 것을 감안한다면, 이러한 현상이 발생할 때는 후면 벽팬의 최소가동을 권장한다.

[표 3-51] 제 16 실험계사 실내 환경변수분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	전단면	상부	9.8	10.1	10.0
		중부	9.0	10.3	9.7
		하부	8.6	8.6	8.5
	중단면	상부	9.9	10.3	10.3
		중부	8.9	9.0	8.6
		하부	8.2	8.8	7.9
	후단면	상부	9.8	11.4	10.2
		중부	8.4	9.2	8.5
		하부	8.0	9.0	8.2
습도 (%)	전단면	상부	47.2	51.6	48.5
		중부	48.2	51.1	45.9
		하부	52.4	55.8	50.5
	중단면	상부	62.3	61.4	60.5
		중부	62.0	62.7	60.1
		하부	58.8	58.6	57.4
	후단면	상부	62.6	62.1	61.5
		중부	58.9	61.4	60.0
		하부	59.6	57.4	60.4
NH ₃ (ppm)	전단면	7			
	중단면	13			
	후단면	15			

* 평균 온도 : 9.20±0.15 °C; 평균 상대습도 : 57.0±5.40 %



[그림 3-73] 제 3 실험 계사의 환경 변수 분포

17) 제 17 실험계사

○ 환기시스템 :

[여름] 음압식 기계환기, 원치커튼 입기_후면 벽팬 용마루배기_원치커튼

[겨울] 용마루배기_원치커튼 입기

○ 일시 : 2003년 1월 15일

○ 장소 : 경상북도 포항시 흥해읍 산란계사-15

○ 측정 환경 변수 : 건구 온도, 상대습도, 암모니아 집적 농도

○ 외부기온 2.6℃, 외부 상대습도 43.6%

[표 3-52] 제 17 실험 계사 실내 환경변수 분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (℃)	전단면	상부	9.1	9.4	9.3
		중부	8.3	8.3	8.1
		하부	5.5	4.8	5.4
	중단면	상부	10.2	10.9	9.8
		중부	9.3	9.7	8.6
		하부	6.2	6.1	5.7
	후단면	상부	10.5	10.7	10.2
		중부	9.6	9.6	8.8
		하부	8.2	8.5	7.9
습도 (%)	전단면	상부	43.6	47.4	42.5
		중부	45.8	46.4	47.1
		하부	43.6	45.3	42.8
	중단면	상부	47.7	50.1	45.8
		중부	46.2	47.6	45.6
		하부	46.6	47.7	47.8
	후단면	상부	48.5	52.7	50.1
		중부	53.9	54.3	52.6
		하부	51.9	52.0	50.8
NH ₃ (ppm)	전단면	25			
	중단면	10			
	후단면	12			

* 평균온도: 8.47±1.76℃; 평균상대습도: 48.01±3.36% ; NH₃ 농도: 8.17±5.01ppm,

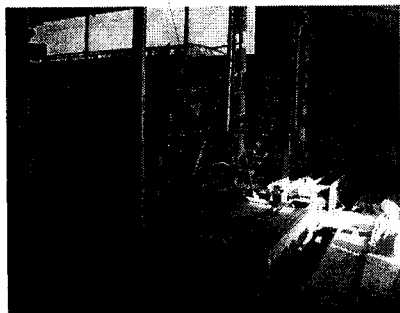
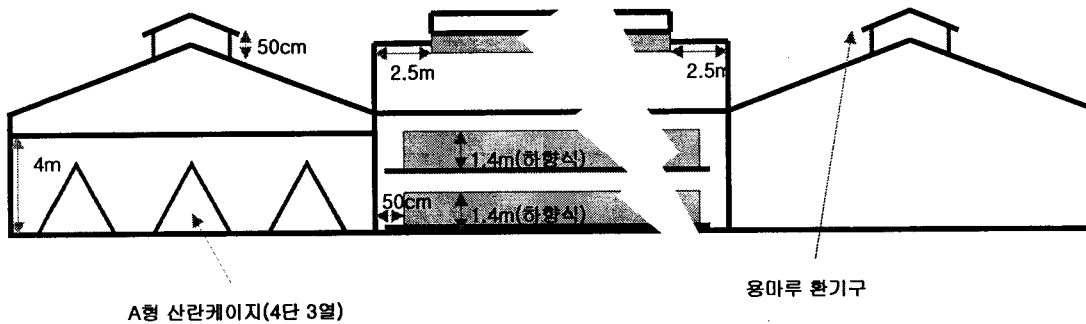
○ 공기 환경분석 : 산란계사 내부의 온도분포는 출입문이 있는 전단면, 중단면 및 후단면의 온도편차는 1℃ 미만이며, 좌측면이 중앙면과 우측면에 비해서 약 1℃ 정도 낮게 관찰되었다. 이는 계사의 방향이 동서동으로 좌측면이 북쪽에 위치한 때문으로

판단된다. 전체적으로 여타 자연환기계사와 달리 온도가 균일하게 분포되어 있다. 물론 자연환기식 계사로 열부력에 의해 상부가 하부보다 약 1~2℃ 정도 높게 나타났다. 또한 용마루 배기구를 통한 가온(加溫)공기의 급속(急速)배기는 실내온도 저하를 가속시킬 것으로 판단된다. 계사 내부의 평균온도가 약 12℃로 일반적으로 인식되는 적온대보다 약간 낮았다. 따라서 겨울철의 경우, 본 능가에서는 측벽 윈치커튼을 통한 공기누입을 최소화하고 용마루 배기구의 개도(開度)를 감소시켜 열손실을 최소화하면 실내 적정온도 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 상대습도의 경우, 전면과 후면이 중앙면에 비해서 약 3% 정도 높게 측정되어 있다. 이는 외부의 저온공기의 출입구의 누입 등으로 내부로 유입과정에서 발생한 것으로 판단되며, 내부와 외부의 전체적인 습도비는 비슷한 것으로 평가된다. 내부의 평균 상대습도는 약 54% 수준을 유지하고 있었지만, 저온대에서의 상대습도는 생육에 큰 의미를 주지 못하기 때문에 온도제어를 위한 환기전략의 구축이 필요하다.

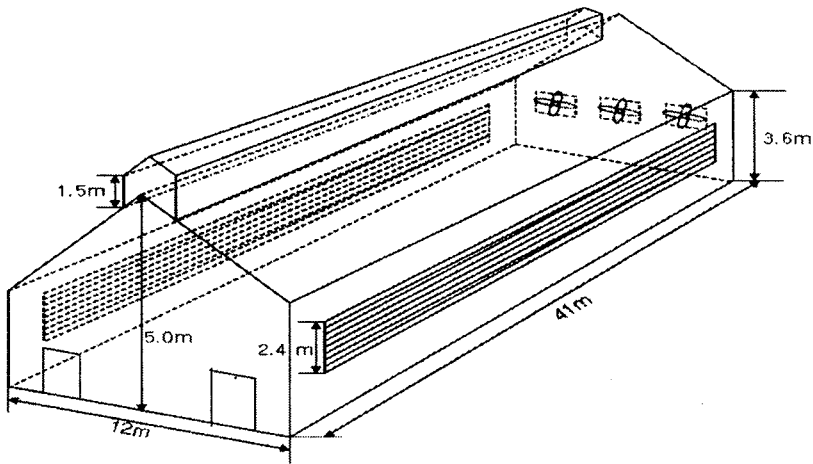
○ 실내의 암모니아의 농도는 약 10ppm 정도로 나타났으며, 이는 바닥의 분뇨처리 가 원활히 이루어지면 이보다 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

□ 신축 산란계사

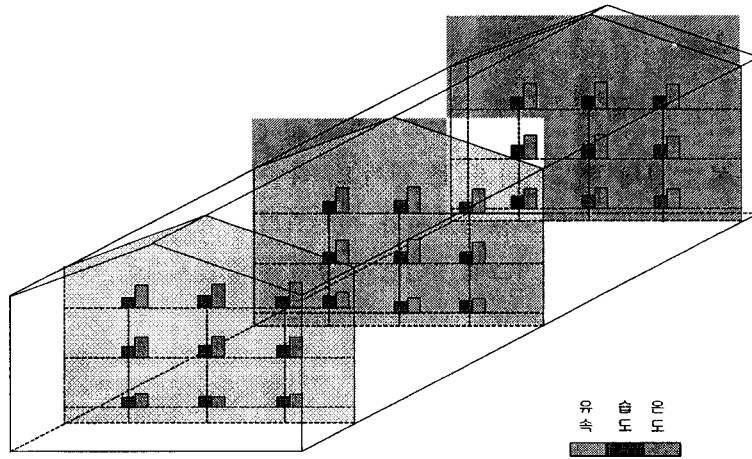


[그림 3-74] 신축계사 내부실상도 및 개략도

신축 산란계사의 실내 환경변수를 측정 한 결과는 [표 3-52]와 같이 나타났으며, 이 때 외부의 기온은 3.5℃, 상대습도는 41.5%였다.



[그림 3-75] 제 17실험 계사의 시설 모식도



[그림 3-76] 제 4 실험 계사의 환경 변수 분포

18) 제 18실험계사

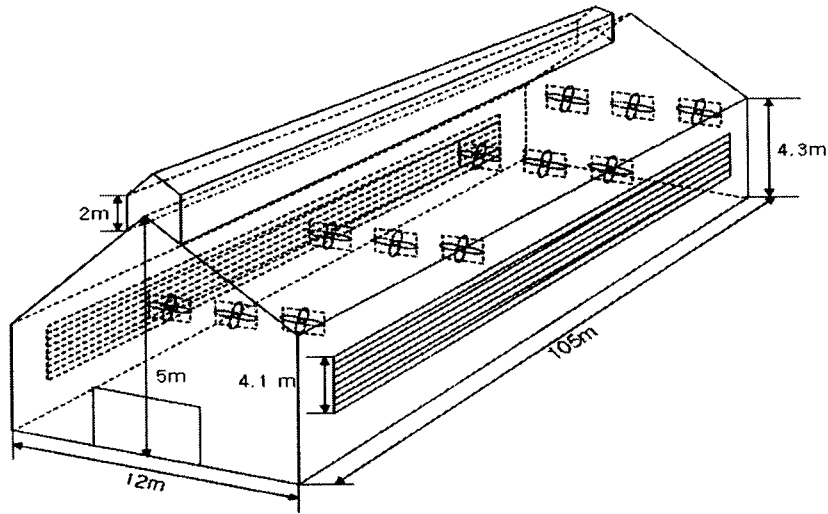
○ 환기시스템

[여름] 원치커튼_입기, 후면벽팬_배기

[겨울] 원치커튼_입기, 용마루 and/or 원치커튼_배기

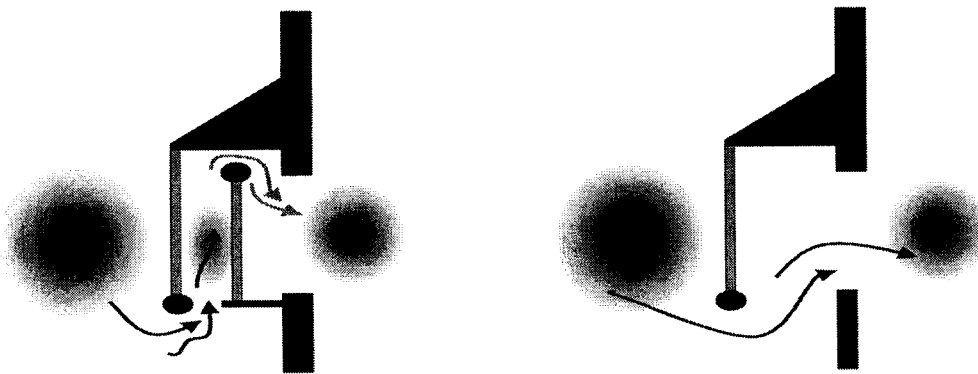
○ 일시 : 2004년 3월 9일

- 장소 : 경기도 포천시 영중면_산란계사 16
- 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 아민기 화합물 농도
- 외부기온 9.6℃, 상대습도는 49.8%



[그림 3-77] 제 18 실험계사의 시설 모식도

○ 공기 환경분석 : 실내 온도편차가 큰 편이고, 하부의 온도가 낮아 역전층이 형성되어 공기정체가 일어난다. 제15 실험계사와 마찬가지로 원치커튼이 지면과 밀착될 정도로 지나치게 낮기 때문이며, [그림 3-78]과 같은 이중원치커튼 장착을 적극 검토할 수 있다.



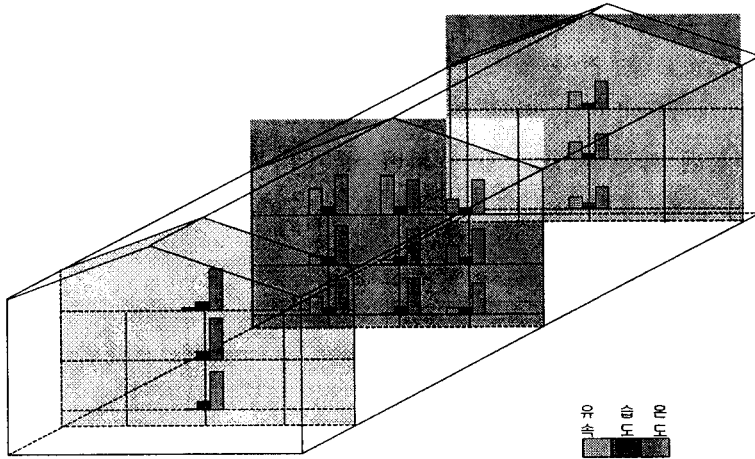
[그림 3-78] 이중원치와 단일 원치의 입기

[그림 3-78]에서 보는 바와 같이 이중 원치를 사용하였을 경우, 공기의 이동은 완충 공간(BUFFER SPACE)을 거쳐 입기 되므로, 바로 침강하여 육계에 냉기류 스트레스를 주는 일이 없는데 비하여, 단일 원치의 경우, 완충공간이 존재하지 않으므로, 이중 원치에 비해 훨씬 빠른 속도로 입기 되며, 공기의 혼합에 충분한 시간을 가질 수 없게 되는 단점이 있다.

[표 3-53] 제 18 실험 계사 실내의 환경변수 분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (℃)	전단면	상부	-	16.6	-
		중부	-	16.8	-
		하부	-	15.3	-
	중단면	상부	15.9	13.9	13.7
		중부	15.7	14.1	14.1
		하부	13.9	14.3	12.3
	후단면	상부	-	11.2	-
		중부	-	9.9	-
		하부	-	8.8	-
습도 (%)	전단면	상부	-	33.1	-
		중부	-	33.1	-
		하부	-	32.8	-
	중단면	상부	31.1	30.7	25.7
		중부	30.8	30.1	26.5
		하부	28.6	30.8	27.3
	후단면	상부	-	21.4	-
		중부	-	20.7	-
		하부	-	22.5	-
유속 (m/s)	전단면	상부	-	0.04	-
		중부	-	0.01	-
		하부	-	0.01	-
	중단면	상부	0.35	0.52	0.2
		중부	0.12	0.06	0.25
		하부	0.24	0.02	0.09
	후단면	상부	-	0.23	-
		중부	-	0.22	-
		하부	-	0.16	-

* 평균 온도 : 13.76±2.34 ℃ ; 평균 상대습도 : 28.34±4.18%; 평균 유속 : 0.17±0.14m/s



[그림 3-79] 제 18 실험계사의 환경 변수 분포

계사 후면온도가 전면온도보다 약 5~7℃ 정도 낮게 측정되었는데, 이는 후면벽 출구문 3개를 모두 개방한 때문으로 이해된다. 습도 역시 전면이 후면보다 10% 이상 높게 측정되었다. 이들 스칼라량의 집적은 유속이 거의 없는 전면지역에 나타나 환기의 중요성을 알 수 있다. 후면부에 유속이 높은 것은 3개 출구문을 개방한 때문으로 외부의 공기가 실내로 유입되면서 일어나는 현상으로 이해된다. 또한, 횡단습도, 온도, 유속 모두 좌측이 우측보다 높았는데 이것은 실험 당시 불어온 서풍이 계사 안을 회전하지 못하고 뒤로 배기되기 때문으로 자연환기시 예측할 수 없는 바람 때문에 일정한 제어가 불가능하다.

CO₂농도와 NH₃농도는 500~600ppm과 1ppm정도로 매우 양호하게 나타났지만 현장 조사 당시 외부기상이 양호하여 측벽 원치나 출구문 등을 개방하였기 때문으로 이해된다.

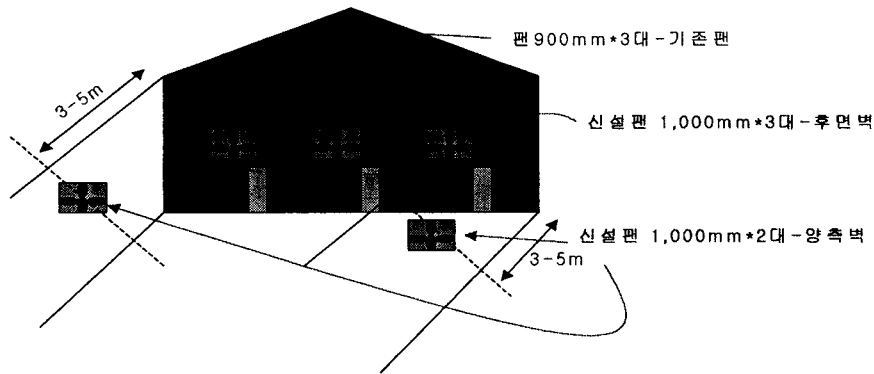
계사 내부의 공기흐름을 smoke generator을 이용하여 측정한 결과 전단면과 중단면에서는 내부의 공기가 지붕의 환기구로 원활하게 빠져나가는 것을 확인할 수 있지만, 후단면의 경우 공기의 증체가 있음을 알 수 있다. 이는 외부공기가 역방향 출구문으로 유입되어 열부력에 의한 굴뚝효과가 방해받았기 때문이다.

○ 운영전략 : 겨울철은 원치커튼의 일부를 개방하여 입기시키고 용마루 모니터를 통해서 배기시키는 환기전략을 한 겨울에는 상단 원치커튼을 10~20 mm 정도 개방 입기시키고 출구벽 3대의 팬 최대용량의 약 60%만을 가동하여 배기시키면 상대적으

로 가온(加溫)된 공기를 용마루로 배기(排氣)시키지 않으면서, 최소량의 신선한 공기 유입이 가능한 최소 소요환기량 8m³/s을 만족시킬 수 있다.

봄·가을은 기존 농장주의 경험에 의거 윈치커튼과 배기팬을 적절히 조합하여 가동한다.

여름철은 기존 환기전략을 지속할 경우, 팬가동을 위하여 에너지비용을 지불하면서 상응하는 효과를 얻을 수 없다. 왜냐하면 실내의 정압이 거의 같아지기 때문이다. 그러므로 그림과 같이 전면벽에 슬롯입기구를 신설하며, 양측벽에 상하단의 100mm 폭의 윈치커튼을 개방하고 후면벽에 3대의 팬을 최대용량으로 가동하여도 최대환기량을 만족시킬 수 없으므로 후벽면의 약 3~5m 전(前)에 양측벽에 1,000mm 팬 2대, 후벽면에 기존 팬 하단에 1000mm 3대를 즉, 1000mm 팬 5대를 새로 장착하여야 한다.



[그림 3-80] 후면벽 팬배치도

19) 제 19 실험계사

○ 환기시스템 :

[여름] 윈치커튼 and/or slot inlet_입기, 후벽팬_배기

[겨울] slot inlet_입기, 측벽팬_배기

○ 일시 : 2004년 4월 10일

○ 장소 : 전라남도 함평군 함평읍_육계사 17

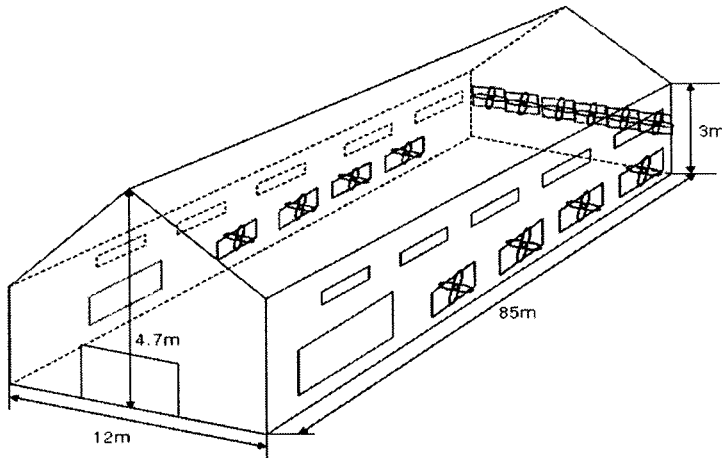
○ 측정 환경 변수 : 유속, 암모니아 농도, 이산화탄소 농도

[표 3-54] 제 19 실험계사 실내의 환경변수

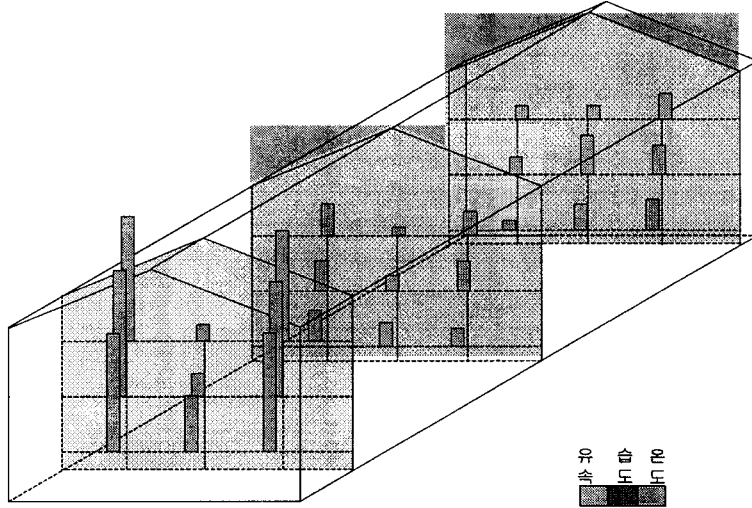
변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
유속 (m/s)	전단면	상부	4.51	0.60	4.01
		중부	4.56	0.84	4.14
		하부	4.28	2.05	4.29
	중단면	상부	1.16	0.31	0.88
		중부	1.10	0.56	1.07
		하부	1.11	0.87	0.65
	후단면	상부	0.48	0.48	0.92
		중부	0.64	1.42	1.06
		하부	0.34	0.93	1.11
NH ₃ (ppm)	90				
CO ₂ (ppm)	1,500				

* 평균 유속 : 1.64±2.13%

○ 공기 환경분석 : 육계 출하 후라 하더라도 여름환기상황을 모사하여 환기실험을 하였는데, [표 3-54]와 같이 후단면으로 갈수록 유속이 떨어지는 편이었고, 유속이 균일하지 못했다. 이는 등간격으로 배치된 slot inlet 때문이며, 전단면의 중앙 유속이 좌우와 많은 차이를 보이는 것은 前部の 원치 환기창 때문으로 판단된다. 원치 환기창을 제거하고, 슬롯 인렛으로만 입기하며, 후단면의 슬롯-인렛을 폐쇄한다면, 문제는 쉽게 해결 될 것으로 보이며, 중앙에 심하게 집적된 암모니아는 호흡곤란을 일으킬 지경이었으나, 이는 계분의 청소 간격이 긴 것과, 원치 환기창의 영향으로 중앙의 공기가 거의 빠져나가지 않기 때문으로 판단된다.



[그림 3-81] 제 19 실험계사의 시설 모식도



[그림 3-82] 제 19 실험계사의 환경변수 분포

20) 제 20 실험계사

○ 환기시스템 및 전략:

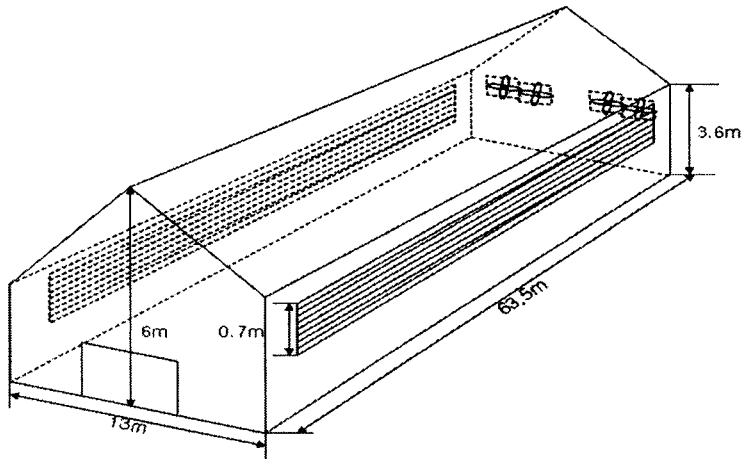
[여름] 윈치커튼_입기, 후벽팬_배기

[겨울] 윈치커튼_배기, 윈치커튼_배기

○ 일시 : 2004년 4월 10일

○ 장소 : 전라남도 함평군 대동면_육계사 20

○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 이산화탄소 농도



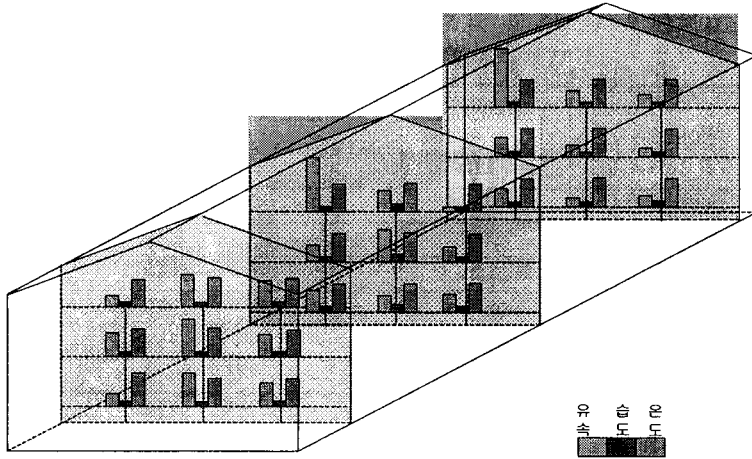
[그림 3-83] 제 20 실험계사의 시설모식도

[표 3-55] 제 20 실험계사 실내의 환경변수 분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (℃)	전단면	상부	21.8	23.1	22.8
		중부	22.4	23.0	21.6
		하부	22.7	22.4	22.1
	중단면	상부	22.0	22.4	22.1
		중부	22.3	23.0	22.2
		하부	22.4	22.5	22.8
	후단면	상부	22.4	22.6	22.7
		중부	22.5	22.7	22.6
		하부	22.3	23.0	23.0
습도 (%)	전단면	상부	20.2	18.1	21.1
		중부	20.6	18.3	21.4
		하부	20.9	18.4	20.6
	중단면	상부	20.3	19.4	20.3
		중부	20.7	19.3	20.4
		하부	21.9	19.5	22.4
	후단면	상부	21.1	19.9	22.1
		중부	20.6	19.6	20.8
		하부	20.4	21.3	24.4
유속 (m/s)	전단면	상부	0.50	0.43	0.35
		중부	0.32	0.50	0.30
		하부	0.17	0.45	0.32
	중단면	상부	0.72	0.28	0.06
		중부	0.22	0.43	0.20
		하부	0.29	0.22	0.24
	후단면	상부	0.79	0.22	0.17
		중부	0.26	0.16	0.12
		하부	0.24	0.12	0.15
NH ₃ (ppm)	3				
CO ₂ (ppm)	600				

* 평균온도 : 22.49±0.38 ℃; 평균상대습도 : 20.52±1.33%; 평균유속 : 0.30±0.17m/s

○ 공기 환경분석 : 실험계사의 환기는 주위의 우수한 환경 때문에 원활한 편이었으나, 계사가 너무 높고, 윈치커튼이 천장에 접할 정도로 높게 달려있어, 상부의 환기에 비해 하부의 환기가 불량한 편이었다. 이는 윈치커튼연장하는 것으로 해결될 것으로 예상하며, 또한 후면 배기팬의 위치가 4m라는 높은 위치에 달려 있어, 상부 공기는 원활히 배기되었다.



[그림 3-84] 제 20 실험계사의 환경 변수 분포

21) 제 21 실험계사

○ 계사 시설 :

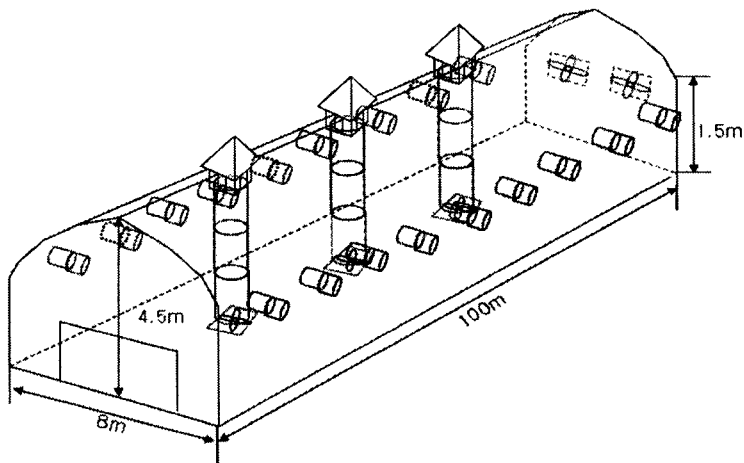
[여름] 측벽파이프_입기, 굴뚝팬 and/or 후벽팬_배기

[겨울] 측벽 파이프_입기, 굴뚝팬_배기

○ 일시 : 2004년 2월 4일

○ 장소 : 전라북도 고창군 부안면_육계사 21

○ 측정 환경변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도, 이산화탄소 농도



[그림 3-85] 제 21 실험계사의 시설 모식도

[표 3-56] 제 21 실험계사 실내환경 변수분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (℃)	전단면	상부	-	14.6	-
		중부	-	15.1	-
		하부	-	14.4	-
	중단면	상부	15.8	16.0	13.6
		중부	15.9	15.6	13.2
		하부	14.6	14.3	13.9
	후단면	상부	-	13.8	-
		중부	-	14.9	-
		하부	-	13.3	-
습도 (%)	전단면	상부	-	17.7	-
		중부	-	17.7	-
		하부	-	17.8	-
	중단면	상부	18.1	17.9	18.1
		중부	17.9	17.8	18.1
		하부	17.9	17.9	18.1
	후단면	상부	-	18.2	-
		중부	-	18.3	-
		하부	-	18.8	-
유속 (m/s)	전단면	상부	-	0.15	-
		중부	-	0.10	-
		하부	-	0.20	-
	중단면	상부	0.00	0.15	0.20
		중부	0.00	0.17	0.15
		하부	0.00	0.06	0.23
	후단면	상부	-	0.17	-
		중부	-	0.07	-
		하부	-	0.02	-

* 평균온도: 15.89±1.44℃; 평균상대습도: 20.44±3.14%; 평균유속: 0.11±0.128m/s

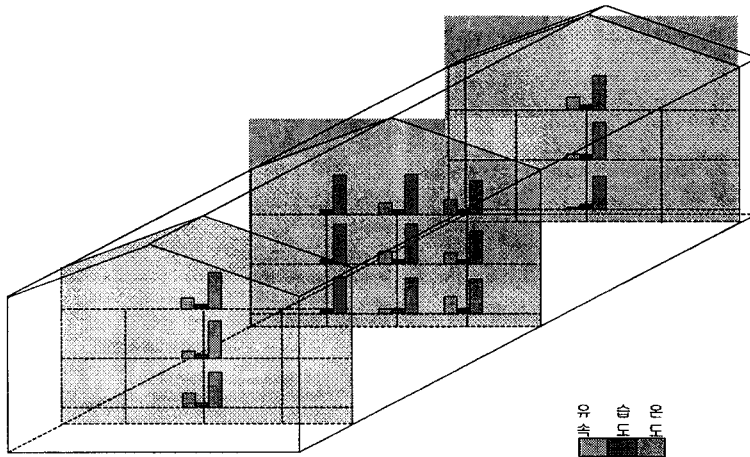
○ 공기 환경분석 : 제 21 실험계사는 겨울 환경 전제 하에 실험이 실시 되었는데, 굴뚝팬의 배기가 원활하지 않아 좌측의 공기 유동에 문제가 생겼다. 이는 굴뚝팬이 국소지역의 환기를 원활히 할 수는 있지만, 넓은 지역의 환기를 담당하기는 힘들다는 사실을 보여주는 것으로, 굴뚝팬의 위치가 우측으로 편중되어 있는 것에 기인하는 것이다. 굴뚝팬의 사용은 바람직하지 않은 것으로 보인다. 계사의 높이가 낮은 편이라, 상층부의 공기 집적 문제는 심각하지 않았다.

본 농가에서 입추(立錐)되지 않은 상태에서 계사 내외부의 온도, 습도를 측정하였으며, 그 결과 모든 계사에서 내, 외부의 온도는 각각 5.6℃, 3.6℃로, 온도차는 2℃ 정

도였으며, 상대습도는 각각 48%, 46%로 거의 비슷하게 나타났다. 입추되지 않은 상태에서 겨울철 강제 환기전략으로 공기유동실험을 한 결과, 주름입기관와 배기구인 굴뚝팬의 유속은 각각 2.23 m/s이고, 3.13 m/s으로 나타났다.

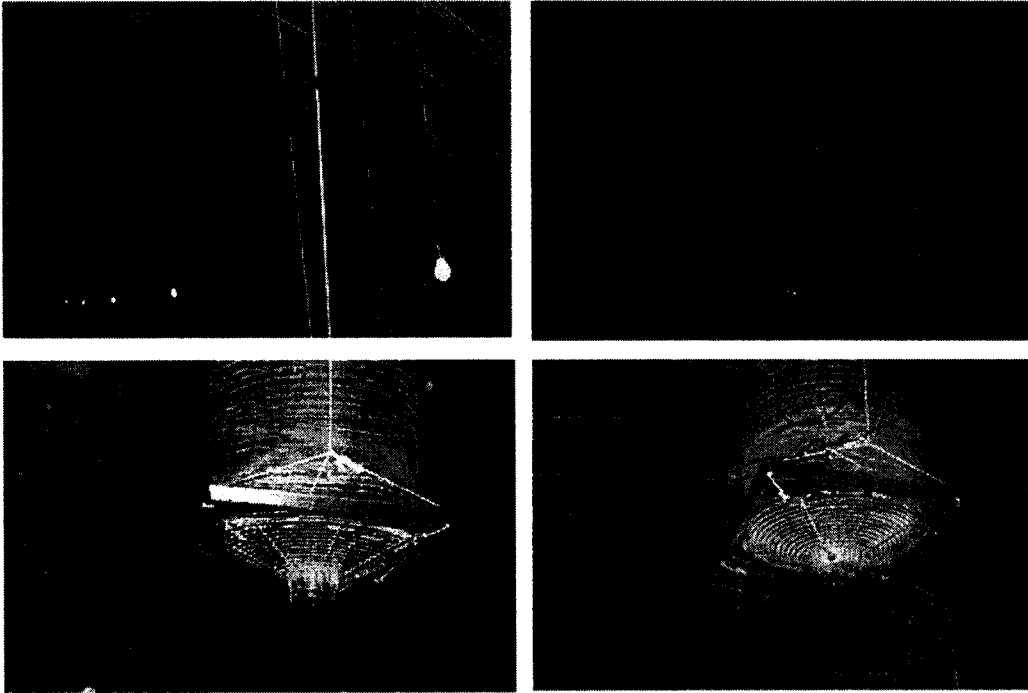
[표 3-57] 계사 내외부의 온도와 습도

위 치	온도(℃)	습도(%)
내 부	5.6	48
외 부	3.6	46



<그림 3-86> 제 21 실험계사의 환경 변수 분포

- 운영전략 : 겨울철 입기구에서 발생할 수 있는 주름관 내부에서 형성되는 이슬은 주름관의 경사 때문에 외부로 낙하되므로 이는 주름관 입기구의 장점으로 실내습도가 상대적으로 과습되는 것을 저감시킬 수 있음.
- 겨울철 공기유동형태 실험결과 입기구의 경사를 계사지붕의 기울기와 같이 하므로써 안정적 유동형태를 형성함을 관찰할 수 있음.
- 여름철 지붕팬의 위치 : 지붕팬으로 배기할 때는 팬의 위치를 최대한 하우스용 마루로 올려서 위치하게 하여야 용마루 부근의 고온(高溫)공기를 배기(排氣)시킬 수 있다

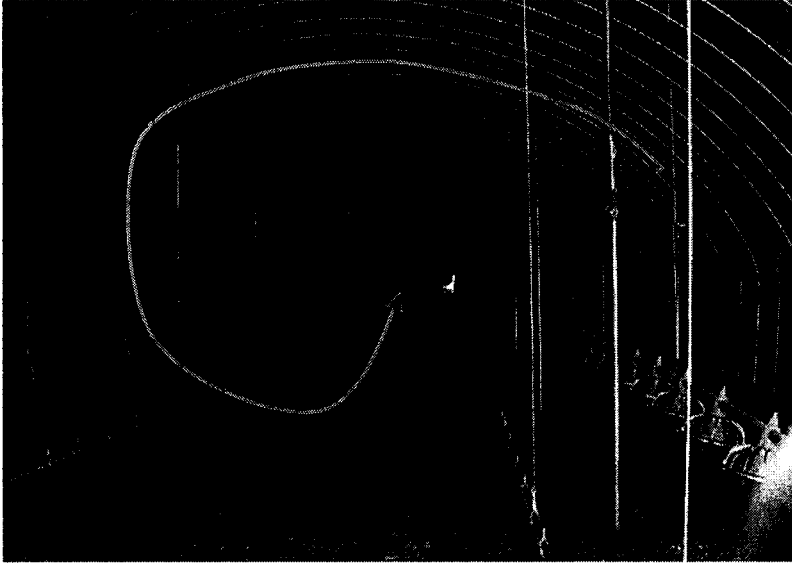


[그림 3-87] 입기주름관을 통한 공기흐름

○ 여름철 환기전략 교체 : 현재 적용하고 있는 환기전략은 양측벽의 윈치커튼을 개방하며, 입구벽의 입구문을 개방하고, 중계팬, 지붕팬과 출구문의 팬을 작동하여 배기한다. 이런 전략의 경우, 당초 의도한 터널환기방식을 기대할 수 없다. 왜냐하면 외 내부의 압력차가 형성되지 못하기 때문에 계사 내 길이 방향으로 중계팬에 의한 유속 외에는 유속의 가속(加速)을 기대하기 어렵다. 그러므로 한여름에는

㉠ 양측벽 윈치커튼을 모두 폐쇄하고 입구문과 양측벽 주름관으로 입기(入氣)시키고, 출구벽의 2개의 60인치 팬과 4개의 24인치 팬을 이용하여 배기(排氣)한다. ㉡ 4개의 24인치 지붕팬 100% 가동

㉢ 출구벽에 장착된 2개의 60인치 배기팬을 약 40% 정도 가동함. 즉, 60인치 팬을 너무 용량이 큰 팬을 설치하였음.



[그림 3-88] 입기주름관을 통한 공기흐름

22) 제 22 실험계사

○ 환기시설 및 환기전략 :

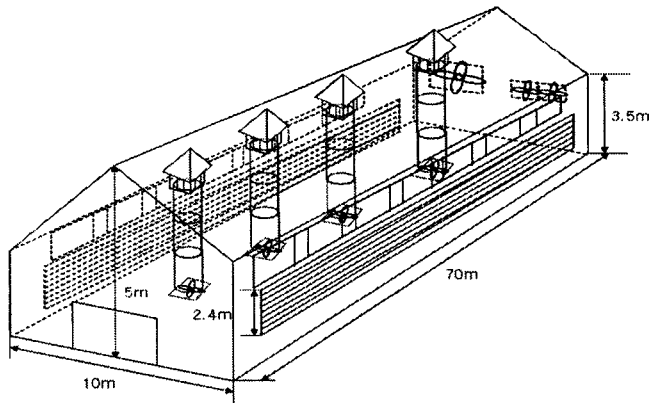
[여름] 윈치커튼_입기, 후벽팬_배기

[겨울] 윈치커튼 and/or 환기창_입기, 윈치커튼_배기

○ 일시 : 2004년 2월 4일

○ 장소 : 전라북도 고창군 부안면_육계사 22

○ 측정 환경 변수 : 건구온도, 상대습도, 유속, 암모니아 농도



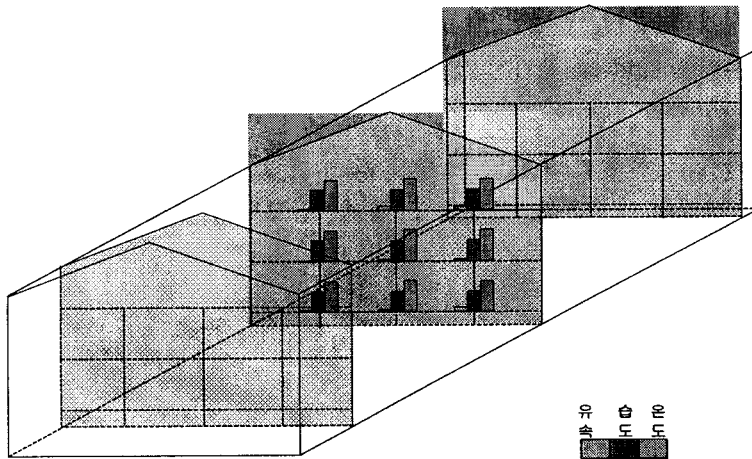
[그림 3-89> 제 22 실험계사의 시설 모식도

[표 3-57] 제 22 실험계사 실내의 환경변수 분포

변수	단면별	위치별	좌측	중앙	우측
온도 (°C)	중단면	상부	23.9	25.2	24.9
		중부	24.1	25.2	24.8
		하부	23.8	25.1	24.3
습도 (%)	중단면	상부	83.8	84.4	83.9
		중부	82.6	83.6	83.1
		하부	80.6	80.3	80.7
유속 (m/s)	중단면	상부	0.02	0.06	0.05
		중부	0.01	0.02	0.03
		하부	0.02	0.03	0.06
NH ₃ (ppm)	중단면	중부	80	70	75

* 평균온도: 24.59±0.57°C; 평균 상대습도 : 82.56±1.60% ; 평균유속 : 0.02±0.03m/s

○ 공기 환경분석 : 제 20 실험농장은 완전 폐쇄 후의 겨울 조건 실험을 실시하였는데, 역시 굴뚝팬 설치의 문제점으로 지적되는 상부 오염기체 집적의 문제가 발생하였다. 이는 온/습도 환경이 쾌적함에도 불구하고 발생하는 문제로, 굴뚝팬과 용마루 환기창의 병행 필요성을 제시하는 자료라 볼 수 있다.



<그림 3-90> 제 22 실험계사의 환경 변수 분포

본 농장에서는 겨울철 환기 문제가 많은데 [표 3-57]에서 보듯이 실내 암모니아의 농도는 70~80ppm 정도로 작업자와 닭의 건강상에 악영향을 미칠 것으로 판단된다. 환기를 적절하게 하지 않기 때문에 실내온도는 23.8~25.2°C로 비교적 안정된 상태로 나타나지만, 실내 습도 같은 경우 80.2~84.4%로 상당히 높게 나타난다. 내부유속은

0.01~0.06 m/s로 거의 유속은 나타나지 않았다. 계사 내에 들어갔을 때 먼지농도가 매우 높아 시야가 맑지 못할 정도로 먼지농도가 높아 보였다. 이는 기본적으로 절대 환기율 부족에 기인된다.

○ 운영전략 : ① 우선 육계사 내 암모니아농도가 70~80 ppm으로 매우 높아 적정 환기율 검정이 필요하다.

② 겨울철 : 공급환기율이 소요환기율의 약 75%에 지나지 않으므로 우선 해야 할 일은 1분on(개)/30초off(폐) 작동전략을 후면벽 (50인치 배기팬 1ea + 20인치 배기팬 2ea)장착된 배기팬 3개를 지속적으로 최대용량 100% 가동해야 함.

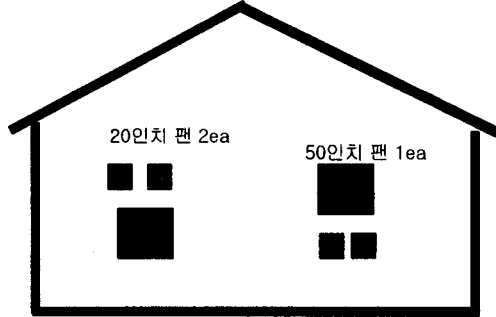


그림 3-91. 환기율제고를 위한 계사 후면벽 팬추가보완계획

③ 여름철 : 양측벽을 현재 공급환기율이 소요환기율의 약 75%에 지나지 않으므로 우선 해야 할 일은 1분on(개)/30초off(폐) 작동전략을 후면벽 (50인치 배기팬 1ea + 20인치 배기팬 2ea)장착된 배기팬 3개를 지속적으로 최대용량 100% 가동해야 함.

④ 여름철을 위하여 슬롯 입기구 육계사 전체 길이 L=70m 에 연(沿)하여 폭 300mm (0.3m) 입기구를 만들어야 하며, 입기구 폭을 조절할 수 있는 배플(baffle)도 함께 장착해야 함.

⑤ 여름철 최대 환기를 위하여 [그림 3-91]과 같이 후면벽에 50인치 팬 하나 20인치 팬 2개를 더 장착해야 함.

2. 생물학적 환경변수 현장실측실험

육계사의 물리·화학적 환경변수 현장실측 외에도 전국적으로 양계 질병이 만연하고 있음을 인식하여 이의 실태를 조사하기 위하여 자발적으로 미생물환경 실험대상으로 자신의 육계사를 제공한 경북 상주의 C씨 농가에서 [표 3-58]과 같이 2004. 6 ~ 2004. 11. 까지 다섯 차례에 걸쳐 현장실측실험을 수행하였다.

가. 실험설계

현재 양계장과 그 주변의 질병이 만연하고 있는 점을 고려하여 양계장 주변의 미생물적 환경 실태를 조사하기 위해 미생물 실험을 실시하였으며, 모든 미생물을 다 선택하여 실험할 수 없었기 때문에 최근 가장 흔히 대표 미생물로서 살모넬라의 일종인 *Haemophilus Paragalinaruim*을 선택하여 실험하였다.

[표-1] 현장조사일시, 조사내용 및 기상조건

회수	일시(기록)	조사내용	기상조건*
1	2004. 6. 26.(토) 10:00~20:00	· Gillian Air Pump 펌프를 이용한 병원성 미생물 흡입 · 주변지형조사, 토양오염도조사	20.0℃, 80.5% 남풍/남서풍 1.7m/s
2	2004. 9. 18.(토) 14:30~9. 19(일) 07:30	· 길리언 펌프를 이용한 미생물흡입 및 주변환경오염조사	21.5℃, 86.7% 남풍/남서풍 1.8m/s
3	2004.10.30.(토) 11:00~10.31.(일) 06:00	· 길리언 펌프를 이용한 미생물흡입 및 주변환경오염조사	6.5℃, 80.2% 남풍/남서풍 2.1m/s
4	2004.11.8.(월) 13:00~11.9(화) 05:00	· 길리언 펌프를 이용한 미생물흡입 및 주변환경오염조사	1.4℃, 68.6% 남풍/남서풍 4.5m/s
5	2004.11.13.(토) 13:00~11.14(일) 05:00	· 길리언 펌프를 이용한 미생물흡입 조사	0.2℃, 70.2% 남풍/남서풍 2.5m/s

* C양계장터에서 매 시간 실측하여 평균한 값.

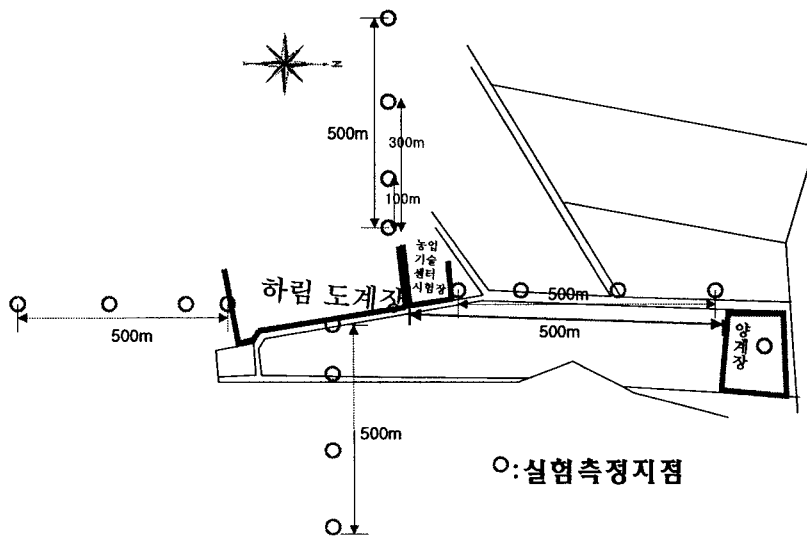
다. 실험방법

1) 현장조사항목

- 주위공기포집 : 길리언 펌프(Gillian air pump)를 이용한 미생물 채집
- 주위 토양시료 채취 및 분석결과 : [그림-7]과 같이 16개 지점에서 각 지점별 3개의 토양시료를 채취하여 결과를 분석하였다.

2) 실험 지점의 설정

실험지점은 병원성균 흡착 미세깃털은 풍향과 풍속에 따라 사방으로 이동될수 있음을 전제로 [그림-7]과 같이 인근 질병균 발원지로 추정되는 지점을 중심으로 이격거리별 사방(四方) 100m, 300m, 500m에 air samling 지점을 설정하였다.

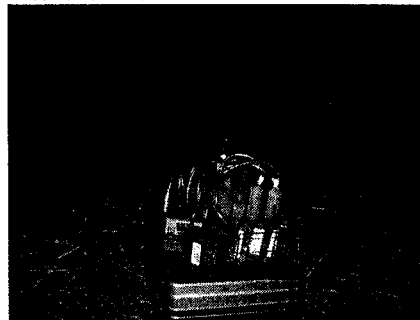


[그림 3-92] 병원성미생물 채집측정지점

3) Air sampling 방법

Gillian air sampler([그림 3-93] 참조)를 이용하여 시료를 채취하였다. 조사에 사용한 Gilian air pump의 사양은 [표-3-59]와 같으며, 시료채취방법은 다음과 같다.

① air sampler를 이용하여 [그림 3-92]와 같이 설정지점별 2ℓ/min율로 공기를 흡입하면, 총 60ℓ의 공기를 흡입하게 된다.



[그림-93] C 육계 농장터에서 air sampling 중인 미생물 흡입 측정장치 및 Gillian air pump setting 실상도

② 60ℓ에서 채취된 미생물을 희석하여, 미생물의 수를 구한 뒤, 0.06m³(60ℓ)으로 나누면, 1m³에 존재하는 미생물의 개체수, cfu/m³를 산정한다.

[표 3-59] 공기포집기 Gilian-3의 사양

변수범위	사양
· Flow Range	1 ~ 3,000ml/min (@ Total), 850 ~ 3,000 ml/min (@ High Flow); 5 ~ 500 ml/min (@ constant Low Flow); 1 ~ 750 ml/min (@ constant Pressure) Constant Flow Control : Better than ± 5% of set flow (after calibration)
· Pressure Range	3,000cc @ up to 8" H ₂ O back pressure 2500cc @ up to 15" H ₂ O back pressure 1000cc @ up to 25" H ₂ O back pressure 850cc @ up to 20" H ₂ O back pressure
· Run Time	8-hour minimum
· Temperature Range	Operating @ 0°C to 40°C
· Humidity Range	Operating @ 0~85% RH, non-condensing

4) 시료분석수, 분석방법 및 분석시간

가) 시료분석수

○ 1회 현장방문 시 실험은 17개의 시료채취지점 (4방향x4지점+양계장터 1지점 = 17 지점)에서 경시적으로 3차례 반복실험을 수행하였고, 분석의 정도(精度)를 제고(提高)하기 위하여 미생물의 배양은 초콜렛 배지에 v-vector를 첨가하였고, 이산화탄소 10%의 상태에서 배양하였다. 각 샘플을 원액, 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³으로 3단계 희석하여 각 샘플당 2개로 비교배양하였다. 즉 1회 현장실험 시 분석시료수는 총 10,200개의 시료를 분석하였다:

- 17(지점) x 3(반복) x 4(4단계 희석) x 2(2종 배양) = 2,040개
- 2,040개/회 x 5회 = 10,200개

○ 또한 5차 방문 시 (2004. 11. 13 ~11.14) C씨 양계장 및 도계장 주변의 개천수 또는 관개수(灌溉水)의 수질과 함유미생물 측정을 위하여 75기의 시료를 채수(採水), 4개의 희석 배수로 희석, 각 시료를 두개로 나누어 비교·배양하였으므로, 총 배양샘플수는 600개이다. 그러므로 총 10,800개의 시료수를 분석하였다.

$$- 75(\text{지점}) \times 4(4\text{단계 희석}) \times 2(2\text{종 배양}) = 600\text{개}$$

나) 분석방법 및 분석시간

[그림-8]의 Gillian 펌프를 이용해 부유공기 중 미세깃털 채집을 수행하였으며, 2004. 7 ~ 12월 중 5차에 걸쳐 차(次)당 매 30분 마다 반복실험을 수행하여 시료를 채취하였다. 예상대로 가금의 깃털이 공기시료 중에 발견되었으며 깃털을 희석하기 위하여, 미생물 부착물질을 분해할 수 있는 bacter peptone으로 희석하여, *Coryza*의 원인균이 되는 *Haemophilus paragallinarum*을 배양하였다. 미생물의 공기 중의 평균 미생물밀도를 알기 위하여, 순수배양된 미생물의 콜로니(colony) 개수를 counting하였으며, 체내와 비슷한 조건으로 배양하기 위해 육계의 체온인 40.5℃에서 24시간 배양하였다. 본래의 순수배양의 경우 40% 이산화탄소에서 배양하여야 더욱 배양이 원활하게 이루어지게 되나, 감염경로가 야외라는 점을 감안하여, 일반 실내공기 상태에서 배양하였다. 그로 인해, 배양 수가 약간 줄어들 수도 있으나, 최대한의 공정성을 기하기 위해 일반 실내공기 상태를 적용하였다. 주변에 전혀 다른 계사가 존재하지 않고, 화재로 인해 최춘길씨 농장이 전소(全燒)된 것을 고려하면 내부원인체의 존재가능성은 배제되어야 한다.

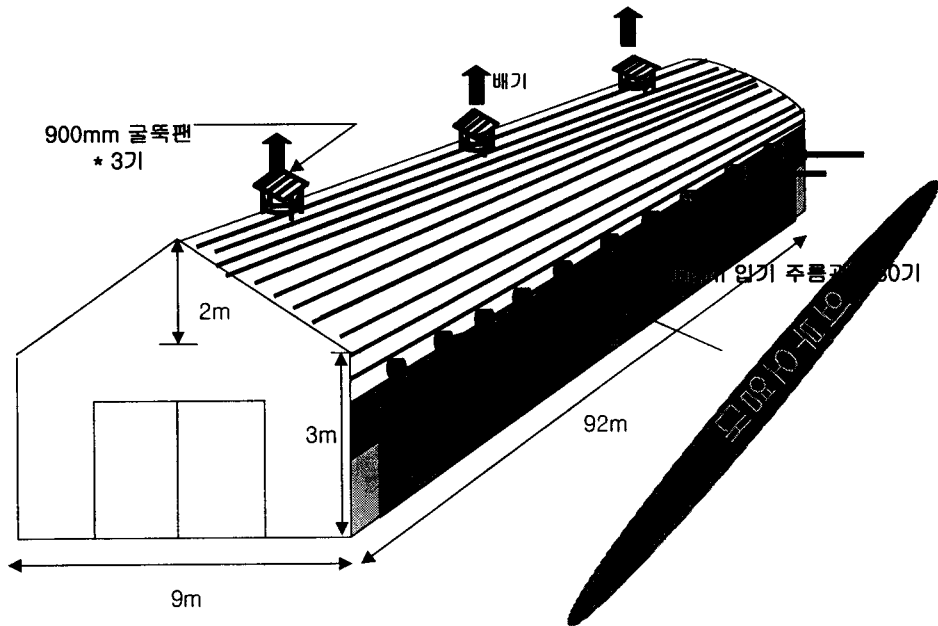
매회 시료분석 소요시간은 각 미생물을 1회 시료수를 5차례 나누어 배양하였으므로, 총 배양시간은 총 24시간/회 x 5회 = 120시간이고, 2,040여개의 시료를 plating (미생물을 배지에 부착시키는 배양 전(前)단계의 과정)을 위한 소요시간은 총 68시간/회이 된다. 총 5회 반복 하였으므로, 188시간/회 x 5회는 940시간이 소요되었다.

나. 환기시스템

병원성 미생물은 양(magnitude)를 가지고 있는 스칼라(scalar)이며 벡터(vector)인 공기 유동 (바람과 실내기류)에 의하여 이송되므로 C농장의 환기시스템은 역시 상주지방의 전형적인 육계사의 환기시스템을 하고 있었다. 여름에는 양면 원치를 완전 개방하여 자연환기에 의해 환기를 하고 있어 육계사터의 주풍(主風)방향이 남풍(南風) 또는 남서풍(南西風)임을 고려하면 인근에 입지한 도계장에 무방비로 노출되어 있다.

겨울의 경우([그림 3-94]참조), 원치커튼을 닫고, 용마루에 900mm 배기팬을 작동시키므로

씨 내부는 음압(陰壓:negative pressure)이 형성되며 측벽처마 아래 한측벽 30개의 300mm 입기관을 통하여 외부의 공기가 입기(入氣)된다.



[그림 3-94] C씨 농장 겨울환기전략

이 때 이론적으로 지붕팬을 100% 가동할 때 처마입기구로 입기되는 공기의 유속은 5.23%이며, 만약 지붕팬을 50%만 가동한다하더라도 입기구의 외부공기의 입기속도는 2.6%로 일 정도로 높다. 그러므로 겨울이라하더라도 [그림 3-94]와 같이 진원지의 오염운(汚染雲)에 무방비로 노출되어 있음을 알 수 있다. 또한 봄·가을이라하더라도 경험에 의하면 원치 커튼의 개방정도를 조절하거나 용마루팬을 가동하므로 이도 여름이나 겨울의 환기시스템과 같이 외부공기에 노출되어 있음을 알 수 있다. 계절에 따라 어떤 환기전략을 적용하든 하림의 오염원이 원치나 입기구를 통하여 실내로 흡입되어 질병미생물을 포함한 미세깃털이 계사에 유입되었을 것으로 판단된다.

라. 연구의 결과 및 분석

1) 질병원인균 규명

발현질병균의 탐색을 위해 가장 출발점은 채취시료에서 질병미생물의 검출여부와 이의 병명을 지목하는 것이다. 농장주의 육계 병증(病症) 관찰에 따르면, "성추에 이르러 콧물

과 안면의 종창이 발생하였다”는 증언을 미루어 계사에서 발생한 질병은 *Coryza*로 판단된다. 이 질병발현 원인균인 *Haemophilus paragalinarum*의 검출을 위해, 초컬릿 배지에 V-vector를 삽입하여, 선택배지를 만든 후, 순수배양 하였다 (순수배양은 특정 미생물만이 살 수 있는 환경을 만들어, 한 가지 미생물만을 검출해 내는 것을 말한다.) [그림 3-95]와 같이 *Haemophilus paragalinarum*이 검출되었다.



[그림-21] 검출된 *Haemophilus paragalinarum*^{b)}

2) 질병균의 수송체

코라이자(*Coryza*)의 전염은 일반적으로는 콧물에서 가장 많은 예를 볼 수 있으나, 체내의 혈액에 존재하는 것을 감안한다면, 깃털 등의 부유하기 쉬운 물질에 포함되어, 전염된 것으로 보인다. 그 증거로, [그림 3-96]과 같이 깃털이 검출된 시료에서는 코라이자 *Coryza*의 원인균인 *Haemophilus paragalinarum*이 검출되었으나, 깃털이 인입(引入)되지 않은 시료에서는 *Haemophilus paragalinarum*이 전혀 검출되지 않은 것을 감안하면, 깃털이 *Haemophilus paragalinarum*을 흡착하고 있는 것은 움직일 수 없는 사실로 보인다. 왜냐하면 일반적으로, *Haemophilus paragalinarum*은 대기(大氣) 상에 생존하지 못하며, 가금의 체내에서만 존재하는 것으로 알려져 있다. 그렇다면, 감염의 매개체가 필요한 것으로 여겨지며, 그 매개체는 깃털로 판단된다.



[그림 3-96] 포집한 공기시료 중 깃털이 함유되어 있는 사진

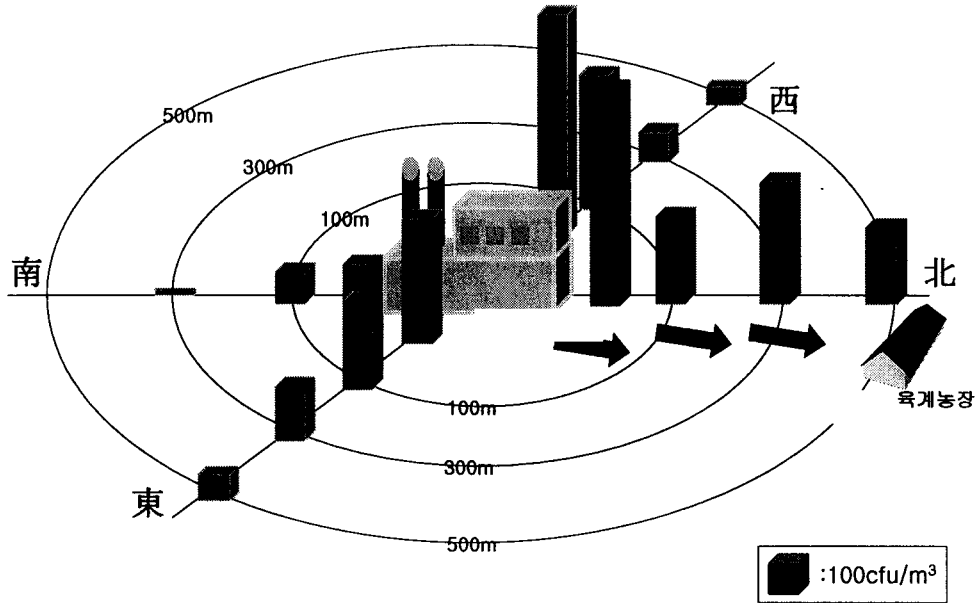
3) 질병균의 경시적 분포

[표 3-60]에 따른 공간적 질병원인균의 분포를 표시하며 [그림 3-97]과 같다. 위치별 농도분포에 관련하여 풍향이 최대의 변수로 나타났다. 원인지를 네 방향으로 균일하다 보면 이 지방의 주풍방향이 남풍/남동풍이므로 북쪽에 자리잡은 C양계장에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

[표 3-60] *Haemophilus paragalinarum* 농도*

	동	서	남	북
인접	332cfu/m ³	563cfu/m ³	122cfu/m ³	556cfu/m ³
100m	244cfu/m ³	352cfu/m ³	101cfu/m ³	238cfu/m ³
300m	158cfu/m ³	97cfu/m ³	17cfu/m ³	322cfu/m ³
500m	85cfu/m ³	63cfu/m ³	0cfu/m ³	211cfu/m ³
주위 하천 측정	871cfu/m ³			
C양계장터 (발원지중심으로 北北東방향 500m)	252cfu/m ³			

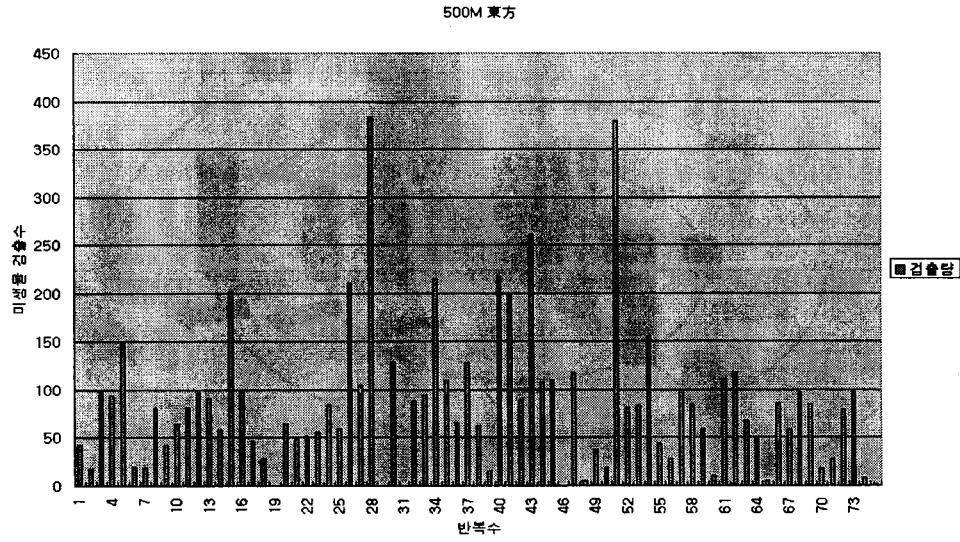
*실제 측정 전체 data는 [別添] 참조



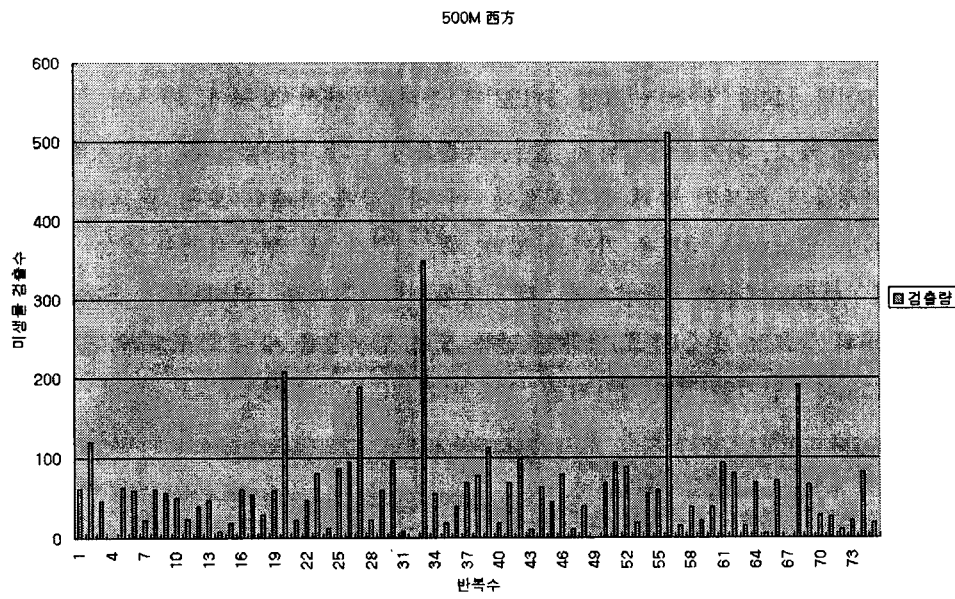
[그림 3-97] 발원지를 중심으로 이격거리별 *Haemophilus paragalinarum* 농도분포도

4) 요약

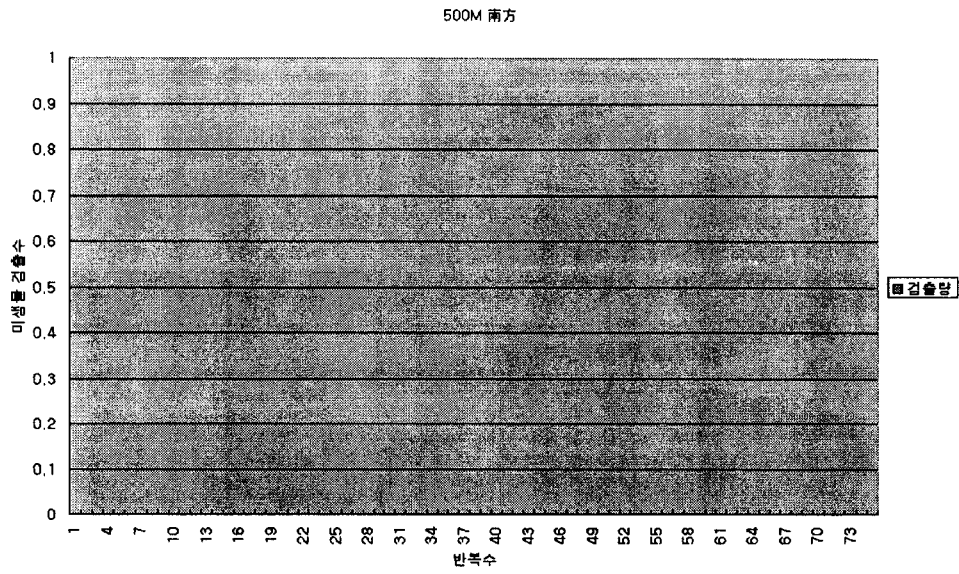
○ [표 3-60]와 [그림 3-98]~[그림 3-102]의 분석결과에서 보듯이, 기온이 높을 수록 미생물의 농도가 높고, 외기온이 낮을 경우, 생존율이 낮게 나타났으나, 진원지에 가까울 수록 병원성미생물의 농도가 높게 분석되었다. 이 지구상에 존재한 모든 물질의 자연적인 변화는 연속체(continuum) 성질을 가지고 있다. 즉, 인위적으로 변화시키지 않는 한, [그림 -28]과 같이 하림도계장을 중심으로 네 방향 이격거리가 커지면서 *Haemophilus paragalinarum*의 농도는 주풍(主風)방향인 남풍 또는 남서풍을 따라 분포되며, 발원지로부터 북향 500m에 입지한 C양계장터는 단 시간 (5분 내)에 *Coryza*병의 원인체인 *Haemophilus paragalinarum*농도가 평균 211 cfu/m³에 이를 정도로 공기에 의해 상대적으로 고농도로 전파되는 것으로 판단된다.



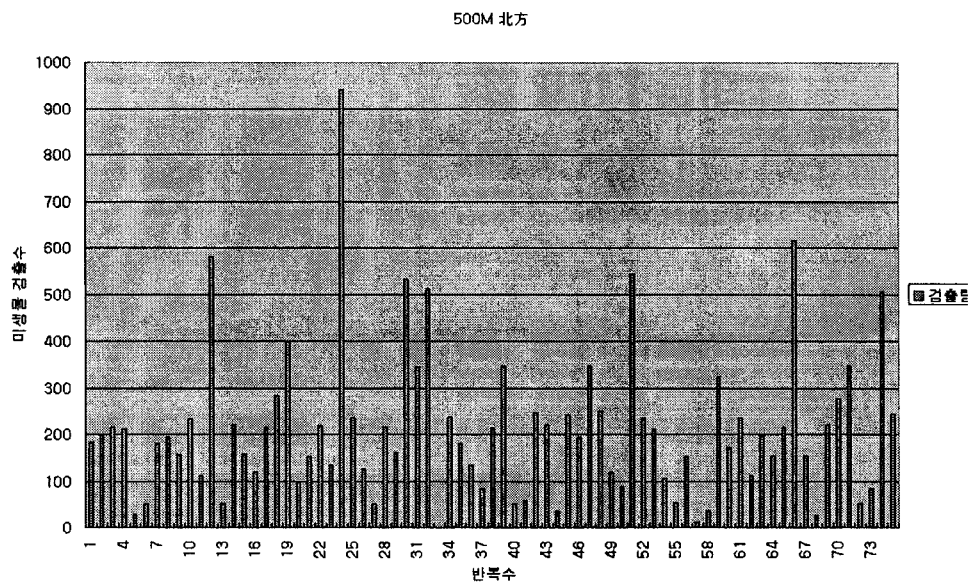
[그림 3-98] 東向 500m지점의 *Haemophilus paragalinarum* 농도변화



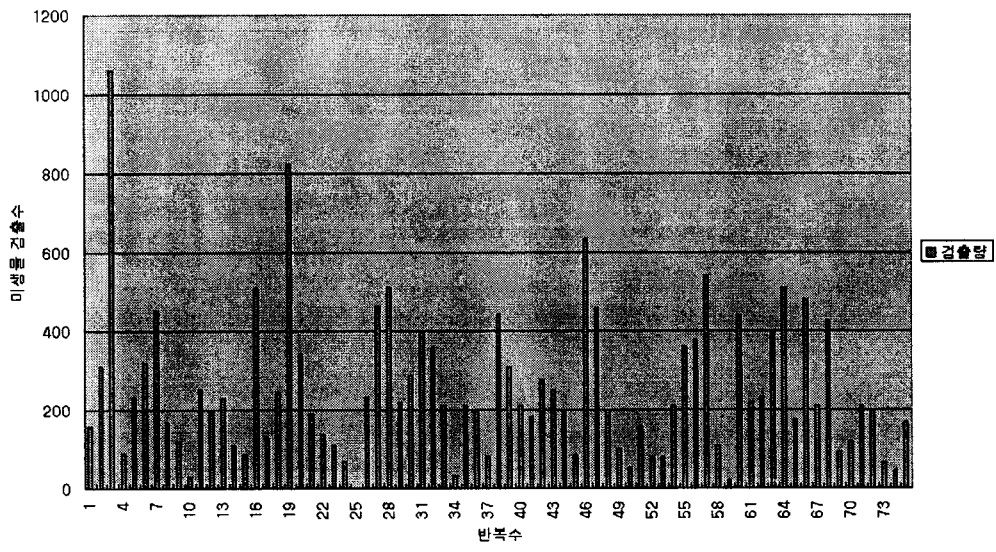
[그림 3-99] 도계장에서 西向 500m 지점의 *Haemophilus paragalinarum* 농도변화



[그림 3-100] 도계장에서 南向 500m부근의 *Haemophilus paragalinarum* 농도변화 (즉, 미생물이 검출되지 않았음)



[그림 3-101] 도계장에서 北向 500m부근의 *Haemophilus paragalinarum* 농도변화



[그림 3-102] C육계농장터의 *Haemophilus paragallinarum* 농도

제 6 절 현장적용 실증실험

앞 절에서 기술한 육계사의 이론적 환기율과 환기시스템 따른 환경변수의 분포 이의 유의성을 검정하기 위하여 다음과 같은 경기도 이천소재 C씨 덕 육계사에서 현장실증 실험을 수행하였다. 2003. 6월부터 약 1 여년 간 예정(여름, 겨울, 봄·가을)으로 실험을 시작하였으나 경기도 뿐만 아니라 전국에 질병(뉴캐슬병)이 만연해짐에 따라 연구원의 육계사 출입이 허용되지 않아 약 50일 실험 후 철수할 수 밖에 없었다.

1. 실험설계

가. 실험일시

현장 육계사 환경평가실험을 위한 주위 환경이 항상 실험의 목적에 맞게 조성되는 경우는 매우 드물기 때문에, 계절에 따라 순차적으로 실험을 진행, 각 경우 당 5반복의 실험을 기본원칙으로 하였다. 5반복 실험이 실험이 여의치 않는 경우, 반복수를 줄여 2 반복으로 조정하였다. 각 실험은 주간(晝間)과 야간(夜間)으로 나누어 실험하였고, 주간 환경변수 측정은 12:00시, 야간에는 20:00시에 실시하는 것은 원칙으로 하였다.

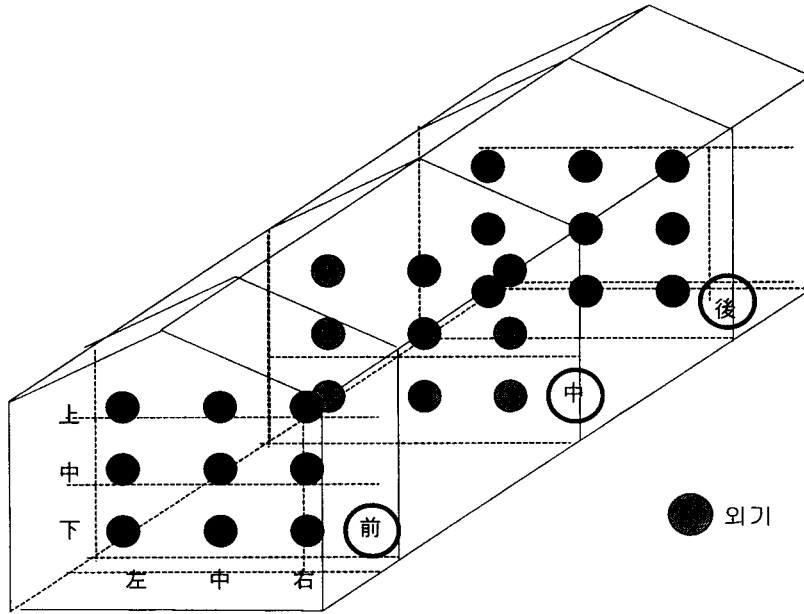
본 연구에서는 우선 현장조사를 통하여, 각 형태의 육계사에 환경문제를 분석하고, 사육 시 '가장 제어하기 어려운 환경변수는 무엇인가?'와 강제환기와 자연환기의 차이, 유창계사와 무창계사의 차이점 등 특징을 파악하여 제어논리에 반영하고, 다음으로, 각각의 환경에 대응하여 올바르게 제어논리가 실행되는가를 환경변수의 측정을 통해 검증하는 실험을 수행하였다. 그 후 6주령의 육계의 체중과 사료효율을 조사하여, 실제로 환경변수의 일정한 유지가 육계의 사육에 어떠한 영향을 주었는가를 조사하였다.

나. 측정위치

육계의 생산성에 가장 직접적인 영향을 미치는 공간은 육계의 체고(體高)수준 공간으로 알려져 있다. 공기의 유동 및 체열 등에 따라 지점별 환경변수의 값이 달라질 수 있다. [그림 3-103]과 같이 횡단면을 上·中·下, 左·中·右로 나누었고, 종단면을 前·中·後 단면으로 나누어 $9 \times 3 = 27$ 점과 외기상 1점 등 총 28점을 측정하여 분포를 비교분석하였다.

다. 측정 시간의 결정

측정시간은 12:00와 20:00시로 환경변수가 밤과 낮은 대표할 수 있도록 하였으며, , 계사 주변 온·습도가 허락하는 범위 내에서 5회 반복을 원칙으로 하였다.



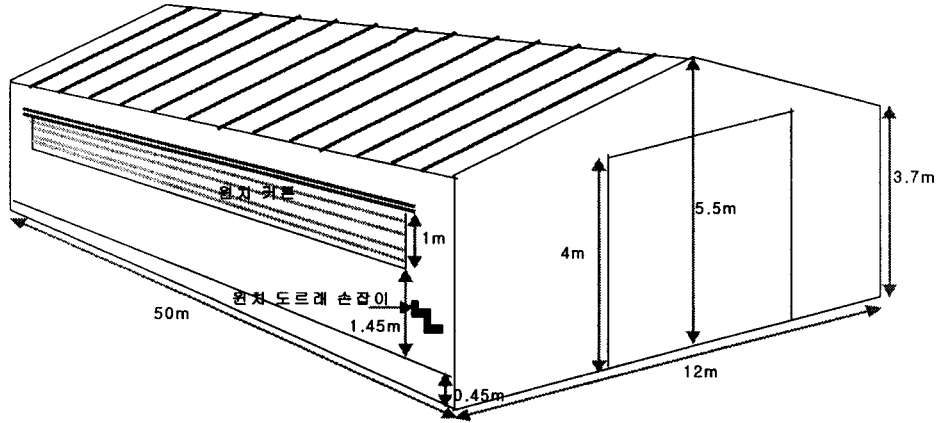
[그림 3-103] 환경변수측점위치도

2. 실험 계획

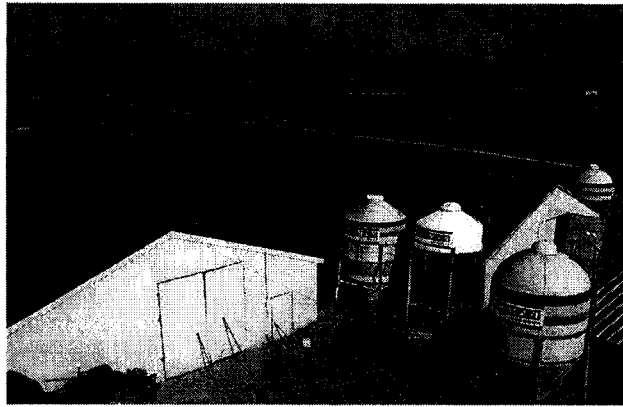
가. 실험육계사 개요

[표 3-61] 실험육계사 제원

구 분	사양
가능사육수수	10,000수
폭	12.00m
길 이	50.00m
지 붕 고	5.5m
처 마 고	3.76m



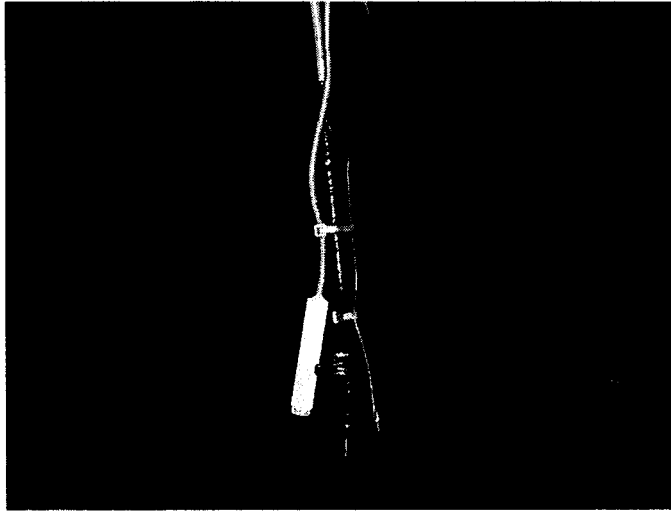
[그림 3-103] 실험육계사의 개략도



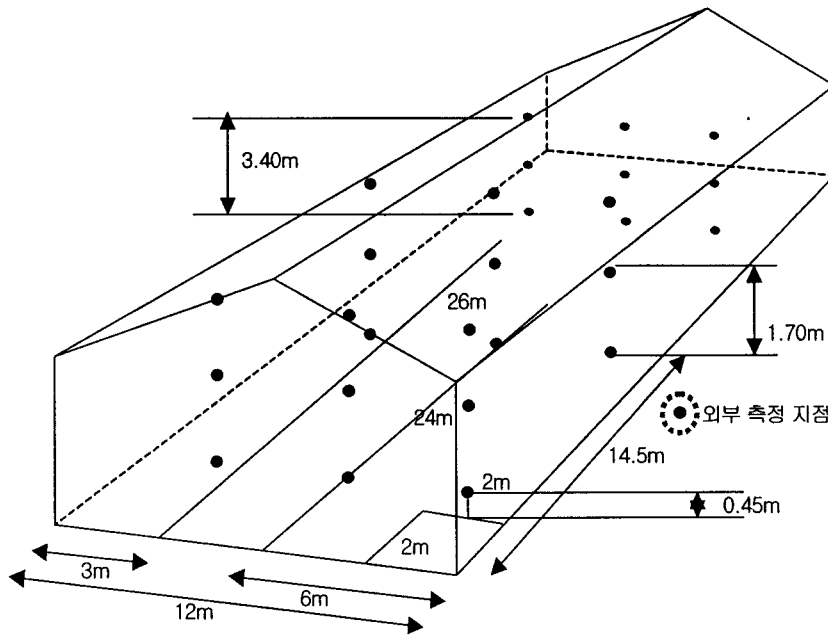
[그림 3-104] 실험육계사 실상도

나. 실험장치 및 방법

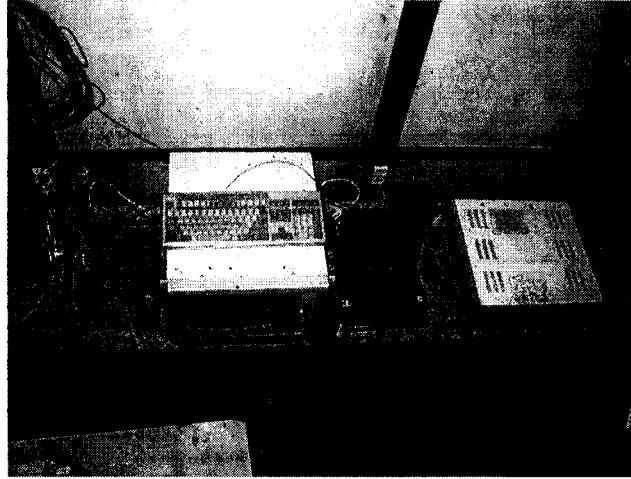
온도측정은 열전대 (T-type)를 이용하여 육계사내 27점에 대해서 1시간 간격으로 실시간으로 측정하였으며, 온도 및 습도센서를 나타낸 사진은 [그림 3-105]과 같으며, 온도 및 습도측정 위치는 [그림 3-106]과 같다. 습도는 HM1500 센서를 이용하여 Angus계측기를 이용하였으며 1시간 간격으로 자료를 측정하였다. 암모니아 농도는 Gastec를 이용하여 간이적으로 측정하였다.



[그림 3-105] 온도, 습도 측정 센서위치



[그림 3-106] 온도, 습도 측정위치



[그림 3-107] 환경변수의 data logging system

3. 실험 육계사 환경분석

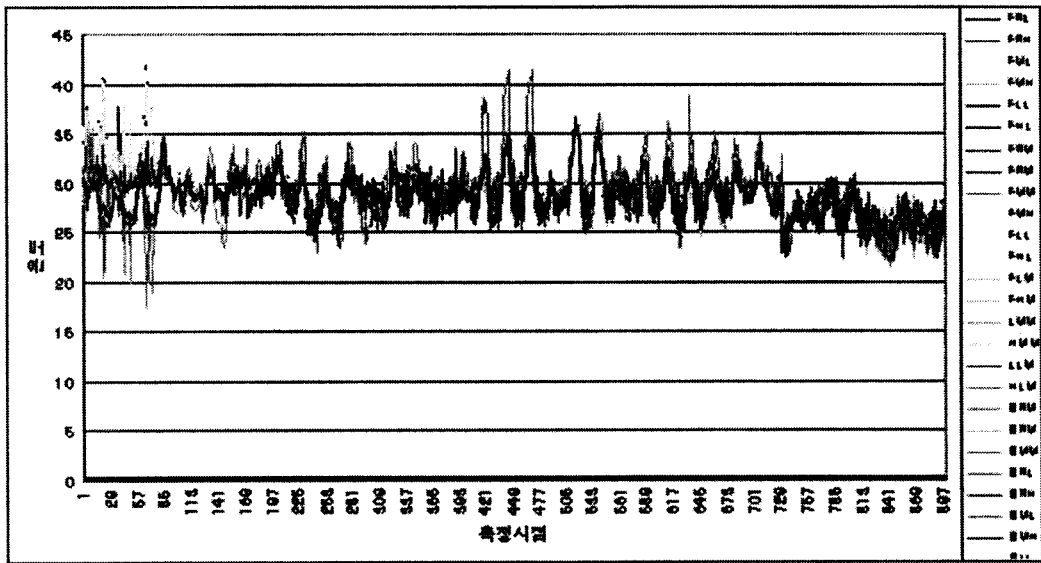
가. 실내외 온도변화

실험육계사 환경분석을 위한 계측실험은 2003. 6월 17일 ~7월 30일까지 약 50일간 실시하였다. 병아리의 입추는 실험시작 5일 후였으며, 전 사육기간은 38일 정도였다. 전 실험기간 동안 각 지점의 온도변화는 [그림 3-108]과 같다.

육계사 내 온도분포는 입추 초기에는 불안정한 하였으나 약 5일 후에는 안정되었다. 실험육계사 내 하루의 온도변화추이가 반복되는 전형적인 형태를 나타내고 있다. 中中下점을 제외한 실내공간에서의 온도분포 25℃~35℃에서 변화하고 있으며, 비교적 안정적이며, 온도는 30℃ 전후로 변하는 것이 관찰되었으며, 사육 후기단계에서는 전체적으로 온도가 25℃ 전후로 감소한 것은 외부의 기상변화에 따른 영향으로 분석되며, 환기율 증가도 온도 하락에 영향을 미쳤기 때문이다.

육계사의 길이방향(longitudinally) 단면별로 살펴보면 전체적으로 온도가 33℃에서 점차 감소하여 26℃ 정도로 유지하였으며, 병아리 입추 후 가온(加溫)에 의한 온도 상승이 34℃ 정도로 유지되면서 뚜렷하게 나타나고 있다. 또한 입추 1주령 이후에는 일일 최고 온도가 31~32℃ 정도를 유지하는 것을 알 수 있었다. 길이방향으로 중앙단면의 상부의 변화가 크게 나타났으며, 직사광선에 따른 온도상승이나, 열부력에 의한 온도상승으로 판단된다. 이러한 상부의 온도 상승은 직접 닭에게 악영향을 주지는 않

은 것으로 판단되지만, 실내환경에 영향을 미칠 수 있으므로 빨리 배출시키는 것이 바람직하다.



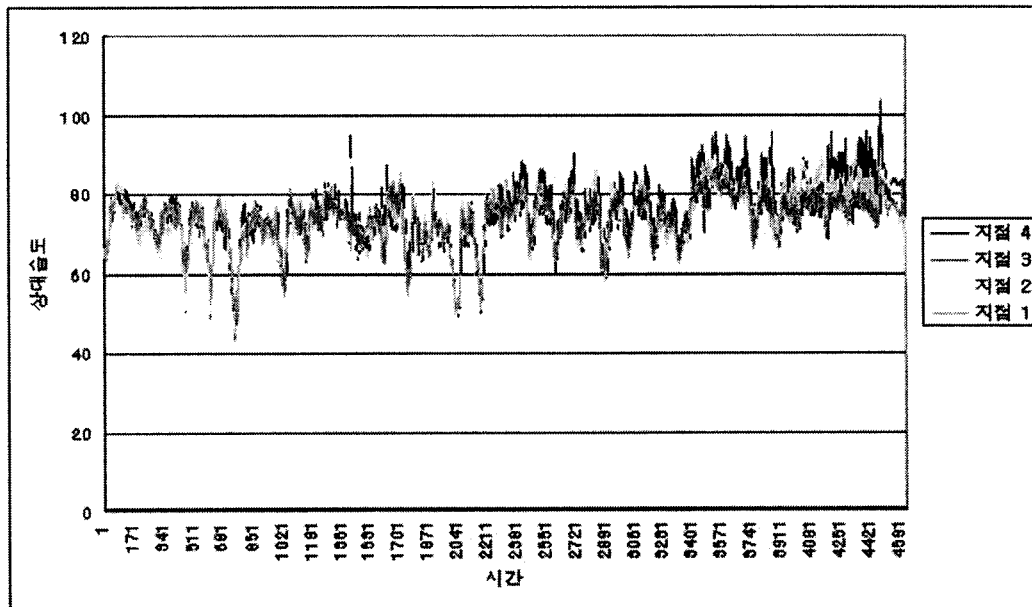
[그림 3-108] 실험육계사내 각 측정별 온도변화 추이

중(從)방향 (laterally) 단면별로 살펴보면 길이방향과 마찬가지로 상부측점의 온도가 35°C 전후로 비교적 높게 나타났으며, 자연환기식 육계사에서도 온도편차가 10°C 이내로 비교적 균일한 온도분포를 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 사육단계에서는 육계사 내 일교차 온도편차를 10°C 이내로 범위로 제어하는 것은 가능할 것으로 판단된다. 또한 폭방향 중앙단면이 측벽보다 온도가 약 2°C 정도 편차가 적게 나타났으며, 이는 원치에 따른 외부의 영향을 적게 받기 때문으로 판단된다.

높이방향(vertically) 단면별로 살펴보면 다른 단면에서와 마찬가지로 전체적으로는 초기에는 평균 34°C를 유지되다가 일령이 증가하면서 환기율을 증가시키면서 26°C 정도로 점차 감소되었다. 닭의 체고(體高)공간의 온도는 닭에게 직접 열스트레스를 주므로 정밀제어의 필요성이 있다. 이 공간에서의 30°C 이내로 양호하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

나. 상대습도 분포

[그림 3-109]은 육계사내 4 지점에 대한 상대습도를 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 전체적으로 60%~90% 정도로 변화폭이 큰 것으로 관찰되었으며, 이는 자연환기식 육계사에서는 외부의 습도에 직접 영향을 받기 때문으로 판단되며, 내부의 습도변화 경향은 외부와 비슷한 형태를 보이고 있다. 또한 입추 초기에는 70%~80% 정도를 유지하다가 일령이 증가하면서 80% 이상으로 나타났다. 이는 닭의 체중이 증가하면서 체내에서 발생하는 잠열의 증가로 판단된다. 이런 경우 다른 계정에는 외부와의 환기로 조절이 가능하지만, 장마철 등을 포함한 외부의 상대습도가 높은 경우에는 습도에 따른 전염병 등의 발생이 우려되기 때문에 환경제어에 신중을 고려할 필요가 있다고 판단된다.



[그림 3-109] 실험육계사내 각 측정점별 상대습도변화 추이

다. 암모니아 분포

암모니아의 측정은 입구에서 5m지점의 중앙단면(前中), 25m지점의 중앙단면(中中) 및 45m지점의 중앙단면(後中) 3 지점에서 1주일 간격으로 측정하였으며, 전체적으로 입추 초기에 3~5 ppm를 유지하다가 출하시점이 가까워지면서 30일령 전후로 15~20

ppm 이상으로 암모니아 농도가 일령에 따라 꾸준히 증가하는 경향을 보였으며, 출하시기인 35일령에서는 입구지점이 22 ppm, 中中中점에서는 25ppm 이상으로 매우 높게 나타났다. 따라서 출하시기(30~35일령)의 암모니아 농도가 매우 높아지므로 이를 제어할 수 있는 구체적인 환기전략을 제시할 필요가 있다. 그러나 물론 입구쪽은 문이 항상 개방되어 있으므로 다른 지점보다 약간 낮게 나타났으나 지점별 농도편차는 크지 않았다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

현재까지 육계사의 공기환경제어를 위하여, 환기팬, 증발냉각 및 가습 공정이 가능한 논리를 개발하였다. 이 논리를 기초로 program coding을 PhaseⅡ 연구에서 수행할 예정이다. 지난 3여년 간 전국 8개도 120여개의 전형적인 육계사에 대해 환경평가를 실시하여 상당한 양의 환경정보를 축적하였다는 점에서 괄목할 만한 성과를 거두었다고 할 수 있다. 또한 획득한 환경정보를 분석하여 표준화함으로써 여태 경험적으로 시공되어 온 육계사를 과학적이고 정밀 기술적 측면에서 올바르게 평가하여, 우리나라의 환경에 가장 적합한 계사로서 정형화(定型化)할 수 있었으며, 여러 계사 내부의 공기 유동과 환경에 대하여 문제점을 찾아낸 것은 큰 성과라고 할 수 있다.

또한, 작업자가 작업장 내에 들어가 있는 시간이 줄어든다는 것은 경제적 측면에서 뿐만 아니라 그만큼 작업자가 질병에 노출될 확률이 줄어드는 것을 뜻하며, 인수(人獸)공동질병의 측면에서나 가축의 위생 및 복지의 측면에서도 긍정적으로 작용할 것으로 판단된다.

점차 농촌의 노동력이 감소되고 있고, 저임금과 열악한 작업장 환경으로 인하여, 노동인력이 자발적으로 유인되지 못함에 따라 농산업이 와해위기에 처해 있다. 그나마 축산은 농업작목 중에서 가장 부가가치가 높은 작목으로 축산은 이미 규모화, 전업화 되어 있는 상태이다. 그러나 생산과정에서 발생하는 불쾌취와 부적절한 분뇨관리로 축산마저도 환경부정적 이미지를 각인시키므로써 일반국민의 축산에 대한 이미지가 극도로 악화되어 있다. 그런 측면에서 계사의 친환경관리가 가능한 대안을 찾아냈다는 점에서, 사회적으로 축산의 부정적 이미지를 어느 정도 해소시킬 수 있다는 가능성 제시측면에서 중요한 역할을 했다는 것이 내부적인 평가이나, 보다 정밀한 환경제어기술을 재생산해내지 못한 것은 미진한 점이라고 할 수 있다.

일반적으로 축산은 휴일이 없는 직업으로 알려져 있으나, 계사환경의 완전 자동제어가 이루어 질 경우, 축산업 종사자들의 여가가 늘어날 것이고, 이는 여가산업에도 긍정적으로 작용할 것이라 생각된다. 또한, 작업장 외부에서 실내의 상황을 정확하게 파악할 수 있고, 작업장 내에 머물러 있는 시간이 줄어들면서, 중노동에 시달리는 축산업 종사자들의 복지적 측면에서도 긍정적으로 작용할 것으로 보인다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 진행함에 따라, 본 연구실은 계사의 형태에 따른 실내의 환경변수 변화와 효율적 환기형태에 대해 많은 환경정보를 축적할 수 있었으며, 또한 계사의 정밀 제어에 대한 기초자료를 획득하게 되었다. 본 연구실에서 설계한 제어논리에 따라 이를 program coding하여 계사의 환기 및 시설자동화가 용이해질 것으로 보이며, 향후 이를 기초로 제어논리를 보다 정밀하게 설계할 경우, 자연환기 계사 및 모든 형태의 계사에 적용할 수 있는 발전된 형태의 제어논리를 개발할 수 있을 것으로 보인다. 이러한 제어논리를 패널에 저장하여 산업화할 경우, 시작품은 온/습도 센서, 암모니아 센서, 제어패널로 이루어질 것으로 전망된다. 계사의 형태에 따라 원치제어용 설비, slot-inlet제어용 설비, 굴뚝팬 높낮이 조절기 등을 추가하여, 어떠한 형태의 계사에도 적용할 수 있는 복합제어pack을 설계할 예정이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구와 관련하여 연구 수행 중 과학기술정보의 수준이라 할 수 없으나 환기 기 자재판매전문회사인 덴마크의 Skov, Innova 등에서 회사발간 기초실험 data자료 등을 수집하였다.

제 7 장 참고문헌

- 권관. 1996. 채란양계시설의 무인자동화 시스템기술개발에 관한 연구. 산자부
- 권오신. 1998. 차세대계사용 환기제어시스템 개발.
- 농림부. 2001. 가축통계.
- 농림부. 1997. 양계산업 II단계 경쟁력제고 대책(안).
- 바이엘화학. 2001. 중소가축편 81호.
- 안명석 외. 발파진동과 소음이 가축에 미치는 영향에 관한 사례연구. 한국소음진동공학회지 11(1): 104~110, 2001
- 용준호, 김종오, 이인모. 1994. 국내 종계장 계사내 공기중 호흡성 분진과 중금속 함량에 관한 연구. 한국수의공중보건학회지:18(4) 317~371. 대한수의학회.
- 최홍림. 1988. 농업시설물의 환기. 대광출판사.
- 한정희. 1995. 개인접촉
- 한국축산시설환경기계협회. 2000. 내부자료
- 현대양계. 1991. 11월호
- 황우석. 1997. 건설공사에 의한 가축피해 및 구제방안. 심포지움 가축분뇨처리 및 조사료 증산방안.
- ASHRAE. 1993. Fundamentals, Atlanta, GA
- Buyse J., E. R. Kuhn, E. Decuyper. 1996. The use of intermittent lighting in broiler raising. 1. Effect on broiler performance and efficiency of nitrogen retention. Poultry Sci. 75:589~594.
- Charles, D. R. and C. G. Payne. 1966. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. I. Effects on respiration and on the performance of boilers and replacement growing stock. Brit. Poult. Sci. 7(3) : 177~187.
- Charles, D. R. and C. G. Payne. 1966. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. II. Effects on respiration and on the performance of boilers and replacement growing stock. Brit. Poult. Sci. 7(3) : 189~198.

- Clark, J. A. 1981. Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths. London.
- Day, D. L. 1983. Ecological and pollutional aspects of manure production. In Livestock manure management. : 3.1~3.17.
- Deaton J. W., J. D. Simmons, and J. D. May. 1989. Light intensity at night for broiler reared under summer temperatures. Poultry Sci. 68:218~220.
- Drury, L. N. 1966. Air velocity and broiler growth in a diurnally cycled environment.
Trans. of the ASAE 9(3) : 329~331.
- Esmay. 1986. Environmental Control for Agric. Structures. AVI. Westport. CT.
- Griffin H. D. et al. 1994. Rapidly growing broiler (meat-type) chickens : Their origin and use for comparative studies of the regulation of growth. Int. J. Biochem: 26(1):19-28
- Harris, G. C., Jr., G. S. Nelson, W. H. Dodgen and R. L. Seay. 1975. The influence of air temperature during brooding on broiler performance. Poultry Sci. 54(2):571~577.
- Hellickson M.A. and J.N.Walker(editor). 1983. Ventilation of Agric. Structures. Saint Joseph. MI. ASAE.
- Holman, W. 1992. Heat Transfer. McGraw-Hill. NY.
- Lawrence, F. 1988. Growth of Farm Animals. CAB INTERNATIONAL MWPS. MWPS-1 Handbook. 1983.
- Mutai, M. 1983. Utilization and effect of lactic acid bacteria. Kor. J. Appl. Microbiol.
Bioeng. 11(4) : 339~345.
- Pedersen S, et al. 2002. Heat and moisture production of broilers kept on straw bedding. JAER 75: 177-187
- Renden J. A., S. F. Bilgili, R. J. Lien and S. A. Kincaid. 1991. Live performance and yields of broilers provided various lighting schedules. Poultry Sci. 70:2055~2062.
- Siegel H.S. and L.N. Drury. 1968. Physiological responses of chickens to variations in air temperature and velocity. Poultry Sci. 47(4): 1120~1127.

- Strauch D. 1987. Animal Production and Environmental Health. Elsevier. Amsterdam.
- Taiganides, E. P., and R. K. White. 1969. The menace of noxious gases in animal units. Trans. of ASAE 12 : 359~362, 367.
- Tamminga, S. 1992. Gaseous pollutants produced by farm animal enterprises. In Farm animals and the environment. ed. Phillips, C., and D. Piggins. CAB International. : 345~357.
- Valentine, H. 1964. A study of the effect of different ventilation rates on the ammonia concentrations in the atmosphere of broiler houses. Brit. Poult. Sci. 5(2) :149~159
- van Horn, H. H., A. C. Wilkie, W. J. Powers, and R. A. Nordstedt. 1994. Components of dairy manure management systems. J. Dairy Sci. 77 : 2008~2030.
- Willians, J and S.A. Elder. 1989. Fluid Physics for Oceanographers & Physicists. 1989. Pergamon press
- Wilson, W. O., C. F. Kelly, R. T. Lorenzen and A. E. Woodward. 1957. Effect of wind on growth of fryers after two weeks of age. Poultry Sci. 36(5) : 978~984.
- Winn, P. N. and E. F. Godfrey. 1967. The effect of humidity on growth and feed conversion of broiler chickens. Int. J. Biometer. 11(1) : 39~50.
- Wolfe, R. R., D. P. Anderson, F. L. Chermis, Jr. and W. E. Roper. 1968. Effect of dust and ammonia air contamination on turkey response. TRANSACTION of the ASAE 11(4):515~518. 522.
- Zimmermann N. G. 1988. Broiler performance when reared under various light sources. Poultry Sci. 67:43~51.