

# 무균돈사내 급배기구의 적정위치설정에 관한 연구

## A Study on the Proper Location of Ventilation Outlets and Inlets in the Germ Free Pigs' Room

권순정\*      손덕영\*\*      최윤호\*\*\*  
Kwon, Soonjung      Son, Deok-Young      Choi, Yoon-Ho

### Abstract

Construction and operation of Germ Free Pigs' facilities are very expensive because pigs' rooms and other major rooms of the facility require germfree environments. Especially, running the HVAC system of aseptic facilities requires a lot of expenses. However, proper location and efficient shape of outlets/inlets for the ventilation of the room can reduce the excessive running cost. In order to do that, this study proposes alternative location and shape of ventilation outlets/inlets to the existing design pattern in germfree pigs' room. The design condition of this study is the maintenance of adequate temperature(24°C), NH<sub>3</sub> concentration level(below 1.5 ppm), and air stream speed(below .25m/sec) in the pigs' room for the summer and the winter together. As the Software Program, FLUENT(Ver. 6.2) has been used for the analysis of proposed ventilation patterns. In conclusion, wall inlets and ceiling inlet/outlet are advisable in summer, wall inlets and ceiling outlets is advisable in winter. As far as the shape is concerned, diffuser type for the ceiling outlet is desirable.

키워드 : 무균돼지, 급배기구, 기류분석, 청정도, 실험동물

Keywords : Germ Free Pigs, SPF Pigs, Laboratory Animal, CFD, HVAC, Ventilation Outlet, Diffuser

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

소형의 무균돼지는 인간의 대체장기를 생산하기 위해, 또는 각종 유전자 및 의학적, 생리학적 임상실험을 위해 매우 중요하게 사용되는 실험동물로 이를 사육하는 것은 상당한 비용과 노력을 수반한다. 특히 무균돼지는 이론적으로 바이러스를 비롯해 어떠한 세균에도 감염되지 않는 무균상태의 돼지 즉 면역이 제로상태인 미니돼지(네이버백과사전, 2008)가 되어야 하기 때문에 이를 사육하는 무균돈사 역시 무균의 상태를 유지하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 무균돈사내 세균이 번식할 수 없도록 외부와 차단된 환경에서 적정한 온도, 습도, 청정도, 기류속도 등을 갖는 인공의 공기를 지속적으로 공급하는 것이 전제조건이다. 그리고 이러한

환경을 구축하고 유지하는 작업은 매우 고가의 비용이 소요되는 물론이다. 본 연구는 무균돈사내 적정급배기구의 위치를 제시함으로써 무균돈사내<sup>1)</sup> 최적의 공조환경을 경제적이고 효율적으로 구축하기 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 1.2 연구의 방법

본 연구는 현재 서울대학교의과대학내 특수생명자원센터의 SPF 급 돈사 방식으로 디퓨저 위치<sup>2)</sup>가 설계된 무균돈사의 단위 유니트에 대한 공조환경을 개선하기 위해 기 제시된 급배기구의 위치를 조정하는 작업을 위주로 한다. 이러한 작업을 위해 가운데 통로가 있고 양측에 케이지가 있는 전형적인 무균돈사(그림1)에 대하여 기류분석(CFD)을 실시하여, 돈사내 온도분포, 압모니아 농도분포, 기류속도 등을 포함하는 환기성능을 평가하였다. 또한 여름과 겨울의 환경조건이 다른 점을 감안하여 각각의 조건에 대하여 최적의 급배기구 위치 및 급기구형태를 제안하였다.

\* 정회원, 이사, 아주대학교 공과대학건축학부 부교수, 공학박사

\*\* 정회원, 아주대학교 공과대학 기계공학부 박사과정

\*\*\* 정회원, 아주대학교 공과대학 기계공학부 교수, 공학박사

본 연구는 농림부 바이오장기 생산연구사업의 연구비 (번호 200506010501) 지원을 받아 수행되었음.

1) 이 외에도 몇 가지 지정된 균이 없는 SPF 급 돼지를 사육하는 SPF 돈사에도 적용할 수 있다.

2) 천정급기와 벽 중간높이에서의 코너배기를 기본으로 한다.

## 2. 모의실험의 개요

### 2.1 돈사의 형태 및 급배기구 위치

#### 1) 돈사의 규격

실험대상공간은 기 설계된 계획안으로 하였으며, 공간의 형태(10100×8100×3150)는 아래 그림과 같다. 돈사내 케이지 규격(mm)은 2200×1800×1000이며 바닥에서 450mm 올려져 있다. 돈사의 케이지 내에는 돼지의 성숙도에 따라 각각 2-10마리 정도의 돼지가 사육된다.

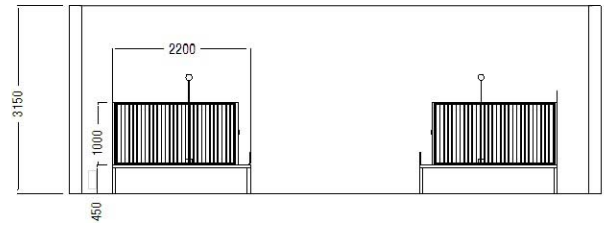


그림 2. 돈사단면

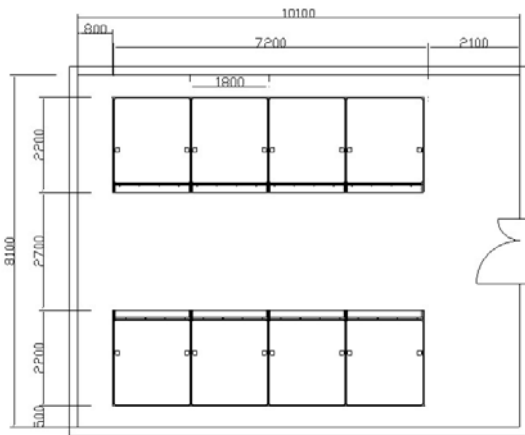


그림 1. 돈사평면

#### 2) 급배기구 위치 및 형태

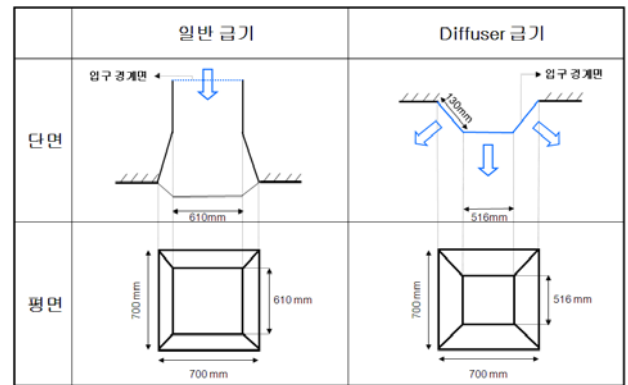


그림 4. 급기구 형태

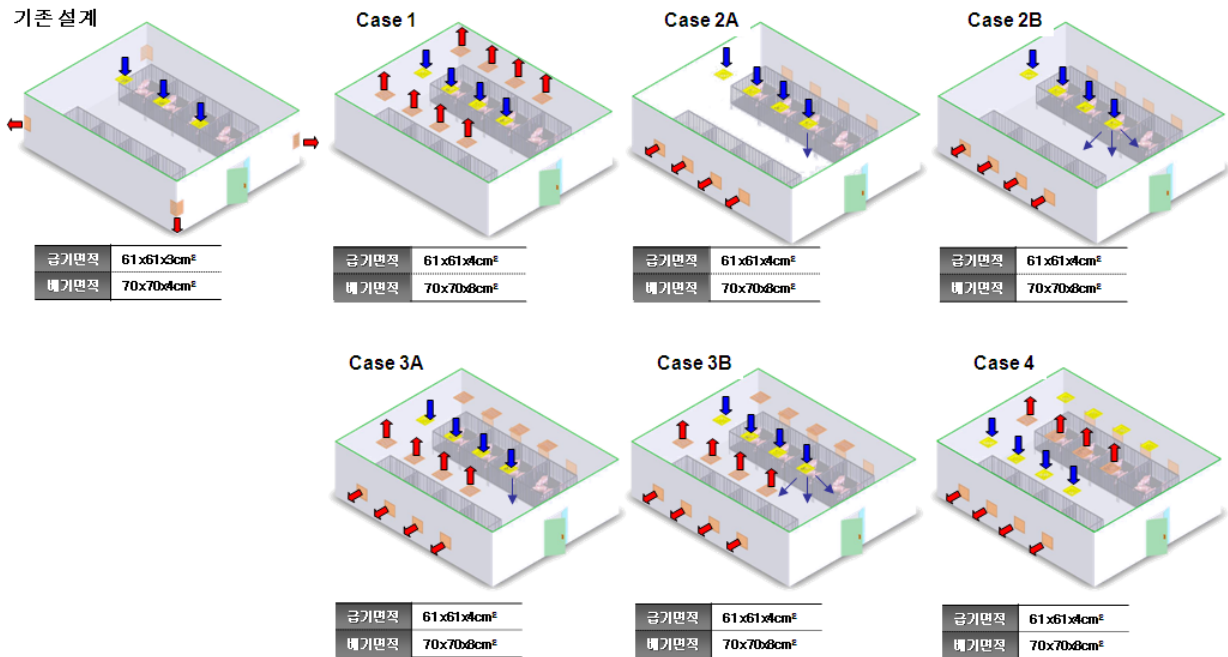


그림 3. 급배기구 위치에 따른 돈사방식

기존설계안을 포함하여 기존설계의 급배기구의 위치 및 형태를 개선한 6개의 돈사형태를 실험대상으로 하였다(그림3). 그림4. 는 급기구의 형태로 일반급기와 디퓨저급기를 보여준다. 본 실험에서는 Case 3B에 적용된 Diffuser 계획에 있어서 직하방 풍량 : Diffuser (하방 45°) 풍량 비율을 1 : 1.1로 설정하였다.

2.2 설계조건

1) 실내 요구조건

표 1. 기존 설계의 실내조건 (가설)

기 준	온 도	암모니아 농도 (ppm)	유 속
돈사 전체평균 및 Cage 평균	여름 : 24 °C 이하 겨울 : 24 °C 이상	약 1.5ppm (기존설계) 이하	0.25 m/s (적정기류) 이하

2) 초기 조건

- NH<sub>3</sub> 농도 : 0 ppm
- 온도 : 30°C(여름), 10°C(겨울)
- 유속 : 0 m/s

3) 해석 방법

- Unsteady 해석
- 시간간격 : 1s
- 해석시간 : 공조시스템 가동 후 1시간(시물레이션 결과 공조시스템 가동후 15분 이후에는 돈사내 기류가 안정화된다)

2.3 해석

1) 지배방정식

돈사 내부의 기류, 온도 및 유해가스 농도분포 특성을 예측하기 위하여 본 연구에서는 3차원 비정상 상태 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 난류운동 에너지 방정식, 난류운동에너지 소산율 방정식 및 농도에 관한 보존 방정식을 사용하였다.

난류 모델로는 표준 k-ε 모델을 사용하였다.

본 연구에서는 돈사에서 발생하는 유해가스 중 돈사내 작업자 및 무균돼지에게 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 NH<sub>3</sub>의 농도분포를 예측하였다.

농도에 관한 보존방정식에서 Sct는 난류에 대한 슈미트수로서 유체 내에 물질이 이동할 때의 상태를 나타내는 무차원수이고, D는 NH<sub>3</sub>의 확산계수이다. S는 분뇨에서 단위부피당 발생하는 NH<sub>3</sub> 량을 나타낸다.

2) 수치해석 기법

본 연구에서는 지배방정식인 3차원 비압축성 비정상 난류 Navier-Stokes Equation 을 전체 해석영역에 대하여 유한체적법과 비정렬격자계로 이산화하였으며, 해석도구로는 FLUENT Ver. 6.2 를 사용하였다.

FLUENT에서 운동량 방정식의 압력장을 처리하기 위해서는 비교적 계산 비용이 적으면서도 압력장을 정확히 예측하는 것으로 알려져 있는 SIMPLE 알고리즘을 사용하였으며, 난류 모사에는 표준 k-ε model 및 wall function을 사용하였다. 또한 계산시간의 단축을 위해서 Parallel Processing을 이용하였다.

3) 경계조건 및 해석방법

본 연구에서 적용된 각 모델의 경계조건을 표2에 요약하였다. 이론적 해석방법 적용시 지배방정식과 함께 정의되는 경계조건은 돈사 천정, 측벽, 바닥, 분뇨, 급기구 및 배기구에서 고려될 수 있다. 급기구로 유입되는 풍량은 시간당 20회의 환기량을 기준으로 설정하였다. 경계조건의 천정, 측벽, 바닥으로 인한 냉방 부하는 측벽, 천정의 표면온도 경계조건으로 설정하였고, 바닥은 표면 열유속 경계조건으로 설정하였다. 또한 돈사 내 조명에서 발생된 부하는 천정 및 10cm 공간에 균일 열원으로 설정하였다.

표 2. 설정기준 및 설정값

위치	조건	설정기준	설정값
급기구	Massflow Inlet	시간당 20회 환기량 x ½	0.86 kg/s
배기구	Pressure Outlet	대기압	0 kPa
Cage 바닥	Porous Jump	Numerical Analysis	α=5.98x10 <sup>-7</sup> C2=645.37---
천정 light	Heat Source	40W/m <sup>2</sup>	400 W/m <sup>3</sup>
분뇨	NH <sub>3</sub> Source	0.36g/hr (90kg 돼지)	1.01x10 <sup>-6</sup> kg/m <sup>3</sup> s
Pig 공간	Porous Media	Ergun Equation	α=0.317176 C2=0.60498-
	Heat Source	96.2kcal/h (30kg 돼지)	283.3 W/m <sup>3</sup>
바닥	Heat Flux	열부하계산서	4.04W/m <sup>2</sup>
측벽	Temperature	실내온도와 동일 가정	24°C

Cage의 바닥은 돼지의 분뇨를 통과시키기 위해서 석쇠처럼 되어있다. 따라서 속도, 압력강하의 특성을 고려하기 위하여 Cage의 바닥면에 porous 기법을 적용하였다.

돼지의 경우 두당 약 112.2 W의 열(현열+잠열)이 발생되어 평균 32 두의 무균돼지가 Cage에 거주하므로(가설) 283.3 W/m<sup>3</sup>의 열량이 발생하는 것으로 고려

하였다(ASHRAE Handbook, Fundamentals Handbook(SI), 1993).

돼지 한 마리의 분뇨에서 생성되는 NH<sub>3</sub>는 시간 당 0.36g이며, 따라서 시간당 돼지 한 마리가 발생시키는 농도는 1.0x10<sup>-7</sup> kg/s이다(Kim I, H., 2001, Environment-friendly pig and feed, Vol. 5, Journal of Swine Co-operative Promotion).

#### 4) Computational Grid

본 연구에서는 돈사 내부의 열기류 해석을 위해 비정렬격자계를 사용하였다.

아래 그림은 본 격자계의 외형을 나타내고 있으며, 이 때 사용된 제어체적의 수는 약 150,000~170,000개이다. 계산부하를 줄이기 위해 격자계의 크기를 실제 돈사 규모의 1/2로 설정하였다. 이 격자계에는 모두 4개의 돼지 사육용 케이지가 들어가며 문에 가까운 쪽부터 일련번호를 부여하였다.

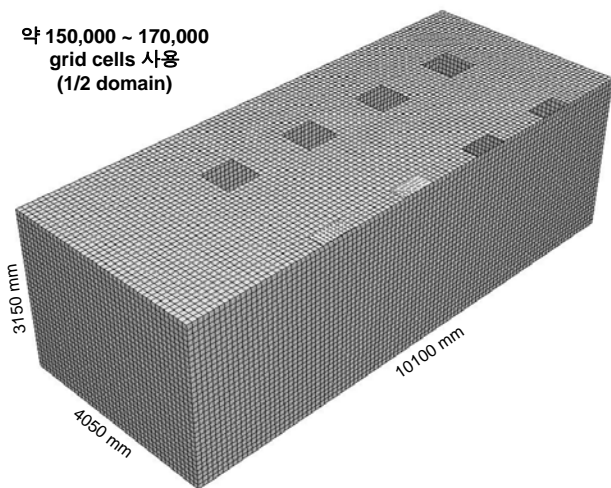


그림 5. Computational Grid

### 3. 실험 결과

#### 3.1 돈사내 평균온도비교

##### 1) 여름철

아래 표는 시간에 따른 온도의 돈사 전체 평균값 및 Cage 평균값을 나타내고 있다. 기존 설계와 Case2A는 다른 Case에 비해 비교적 높은 온도를 나타내고 있어, 열부하를 해소하는 성능이 떨어지는 것으로 보인다. 이와는 달리 비교적 나은 환기효과를 나타내고 있는 Case 1 및 Case 3A, Case 3B, Case 4의 성능 차이는 미미하며, 이러한 현상은 Cage 평균일 경우 더욱

두드러진다.

천정쪽에 배기구가 있는 Case 들이 보다 나은 성능을 보이는 이유는 천정부분에 집중되는 열부하와, 자연대류에 의해 천정쪽으로 모이는 고온 유체를 보다 효과적으로 배기할 수 있기 때문이다.

표 3. 여름철 돈사내 평균온도 비교 (단위 °C)

구 분	Cage 1*	Cage 2	Cage 3	Cage 4	Cage 평균	전체 평균
Case 1	22.9	22.3	22.2	22.8	22.5	22.6
Case 2A	23.8	23.3	23.3	23.3	23.4	23.9
Case 3A	22.8	22.5	22.7	22.7	22.7	22.9
Case 3B	22.7	22.5	22.4	22.5	22.5	22.7
Case 4	23.0	22.4	22.4	22.2	22.5	23.1
기존 설계	23.5	23.7	23.4	24.2	23.7	24.1

\* Cage 1이 돈사 출입문에 가장 가까이 위치하고 Cage 4가 가장 멀리 위치한다.

\*\* 음영부분이 열성능이 좋은 경우이다.

##### 2) 겨울철

아래 표는 시간에 따른 돈사 전체 평균온도 및 Cage 평균온도를 나타내고 있다. 급기온도인 24.2도는 돈사 내부 온도가 24도에서 평형을 이루기 위해 이론적으로 계산된 값이다. 그러나 실제 현상에서는 급배기구의 위치에 따른 환기효율의 차이로 인해 돈사 내부 온도가 예상 열평형 온도인 24도와는 다소의 차이를 보일 수 있다. 위 결과에 의하면, 기존설계가 가장 높은 온도를 보여 열에너지 측면에서 가장 효율적인 것으로 판단되며, Case 2와 Case4 역시 모든 평균온도에서 난방 목표 온도인 24도 이상을 나타내고 있어, 급기되는 열에너지 및 돈사 내부에서 발생하는 열에너지를 효과적으로 가두고 있는 것으로 판단된다. Case3A와 Case3B는 전체평균 온도가 24도에 미치지 못하고 있어 비교적 낮은 집열성능을 가진다고 생각할 수 있으나, Cage 평균 온도는 24도 이상을 나타내고 있기 때문에 실용적인 관점에서는 양호한 열에너지 효율을 보인다고 할 수 있다. Case1은 모든 평균온도에서 24도에 이르지 못했기 때문에, 본 연구에서 고려되는 Case들 중 겨울철 난방 측면에서 가장 불리한 환기 시스템인 것으로 판단된다.

천정의 배기구는 자연대류에 의해 천정쪽으로 모이는 고온 유체를 신속히 배출해 버리는 역할을 하기 때문에 겨울철 난방을 비효율적으로 만든다. 이러한 이유로 천정 배기구가 없는 Case가 가장 좋은 열에너지 효율을 보이며, 측면 배기에 비해 천정 배기로 빠져나가는 공기가 많게 되는 구조일수록 집열 효과가 떨어지게 된다.

표 4. 겨울철 돈사내 평균온도 비교 (단위 °C)

구 분	Cage 1	Cage 2	Cage 3	Cage 4	Cage 평균	전체 평균
Case 1	23.7	24.1	23.8	23.8	23.9	23.5
Case 2A	24.4	25.0	24.9	24.5	24.7	24.2
Case 2B	24.2	24.6	24.6	24.5	24.5	24.1
Case 3A	24.0	24.5	24.6	24.3	24.3	23.9
Case 3B	23.9	24.1	24.1	24.3	24.1	23.7
Case 4	24.6	24.6	24.3	24.7	24.5	24.1
기존 설계	24.9	25.5	25.5	25.2	25.3	24.6

### 3.2 평균 NH<sub>3</sub> 농도 비교

#### 1) 여름철

아래표는 시간에 따른 NH<sub>3</sub> 농도의 돈사 전체 평균 값 및 Cage 평균값을 나타내고 있다.

Case1 과 Case 4는 기존설계에 비해 높은 농도값을 나타내고 있어 개선효과가 없는 것으로 판단되며, 그 외의 Case는 기존설계에 비해 비교적 크게 환기성능이 개선되었음을 알 수 있다.

이러한 개선효과는 Cage 평균값에서 더욱 두드러지게 나타나며, Cage 평균 측면에서 볼 때 개선된 환기성능을 보이는 Case 2A 및 Case 3A, 3B 사이의 성능차이는 거의 없다고 할 수 있다. 이러한 결과는 돈사 온도분포에서의 결과와는 다르게, 돈사 바닥에 위치한 오염원은 측면 배기구를 통해 보다 효과적으로 배출될 수 있다는 것을 보여준다.

표 5. 여름철 평균 NH<sub>3</sub> 농도비교 (단위 ppm)

단위 : °C	Cage 1	Cage 2	Cage 3	Cage 4	Cage 평균	전체 평균
Case 1	2.072	1.174	1.188	1.957	1.623	1.968
Case 2A	1.341	0.923	0.910	0.942	1.029	1.344
Case 3A	1.305	0.829	0.914	0.992	1.010	1.442
Case 3B	1.461	0.951	0.759	0.772	0.986	1.442
Case 4	2.103	1.592	1.624	1.518	1.709	1.997
기존 설계	1.155	1.327	1.513	1.757	1.438	1.659

#### 2) 겨울철

아래 표는 시간에 따른 NH<sub>3</sub> 농도의 돈사 전체 평균 값 및 Cage 평균값을 나타내고 있다. 기존 설계는 배기 면적이 작아 원활한 환기를 통해 실내 오염공기를 신속하게 배출하는 데는 취약점을 드러내고 있다. Cage 밑의 바닥에서 발생하는 NH<sub>3</sub>를 신속하게 배기하기 위해서는 여름철과 마찬가지로 겨울철 역시 측면 배기가 유리한 것으로 나타났다. 측면과 천정 배기를 동시에 사용하는 Case 3A 및 Case 4는 중간적인 성

능을 보이기는 하나 Cage 평균농도가 높아 실질적인 환기성능은 떨어지는 것으로 보인다. NH<sub>3</sub> 농도 측면에서는 Case 2B가 다른 Case들에 비해 탁월한 환기성능을 보이고 있다.

표 6. 겨울철 평균 NH<sub>3</sub> 농도비교 (단위 ppm)

구 분	Cage 1	Cage 2	Cage 3	Cage 4	Cage 평균	전체 평균
Case 1	1.478	2.579	5.020	2.690	2.942	1.896
Case 2A	1.164	2.313	1.988	1.022	1.622	1.339
Case 2B	0.755	1.811	2.293	0.837	1.424	1.063
Case 3A	1.427	3.406	2.258	1.161	2.063	1.624
Case 3B	0.461	1.304	3.190	1.585	1.635	1.136
Case 4	0.753	2.082	4.424	1.690	2.237	1.467
기존 설계	1.037	1.547	2.227	2.048	1.715	1.725

### 3.3 평균 유속비교

#### 1) 여름철

아래 표는 시간에 따른 기류속도의 돈사 전체 평균 값 및 Cage 평균값을 나타내고 있다.

모든 Case에 대해 적정 유속이라 할 수 있는 0.25m/s 이하를 만족하고 있으며, 사육환경에서 중요하게 여기는 Cage 내의 평균값은 거의 동일하게 나타나고 있다.

이중 기존 설계의 Cage 평균값이 미세하게나마 가장 작게 나타나는 것은 급기구와 배기구 사이의 주된 흐름이 중앙에서 모서리로 향하는 대각선 방향으로 형성되어 Cage 영역 밖으로 주기류가 흐르기 때문인 것으로 보인다.

표 7. 여름철 평균유속비교 (단위 m/s)

단위 : °C	Cage 1	Cage 2	Cage 3	Cage 4	Cage 평균	전체 평균
Case 1	0.13	0.18	0.19	0.13	0.16	0.16
Case 2A	0.13	0.19	0.18	0.15	0.16	0.15
Case 3A	0.14	0.18	0.17	0.14	0.16	0.14
Case 3B	0.13	0.16	0.17	0.14	0.15	0.13
Case 4	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.13
기존 설계	0.15	0.13	0.18	0.10	0.14	0.16

#### 2) 겨울철

아래 표는 시간에 따른 기류속도의 돈사 전체 평균 값 및 Cage 평균값을 나타내고 있다. 모든 Case에 대해 적정 유속이라 할 수 있는 0.25m/s 이하를 만족하고 있으며, 사육환경에서 중요하게 여기는 Cage 내의 평균값은 거의 동일하게 나타나고 있다.

표 8. 겨울철 평균유속비교 (단위 m/s)

구 분	Cage 1	Cage 2	Cage 3	Cage 4	Cage 평균	전체 평균
Case 1	0.15	0.12	0.10	0.12	0.12	0.16
Case 2A	0.19	0.14	0.15	0.23	0.18	0.17
Case 2B	0.19	0.15	0.14	0.21	0.17	0.16
Case 3A	0.20	0.14	0.14	0.21	0.17	0.17
Case 3B	0.18	0.15	0.11	0.16	0.15	0.15
Case 4	0.16	0.12	0.08	0.12	0.12	0.12
기존 설계	0.15	0.13	0.12	0.19	0.15	0.18

## 4. 종합

### 4.1 돈사내 온도 분포 관점

여름철의 경우 기존 설계 및 Case 2A 가 가장 낮은 환기성능을 보인다. Case 1, 3A, 3B, 4 의 환기성능은 모두 기존 설계보다 우수하며, 그 중 Case 1 및 Case 3B의 성능이 가장 높다

한편 겨울철에는 기존 설계가 높은 집열성능으로 가장 우수한 난방 성능을 보인다. 천정 배기 의존도가 높을수록 난방 성능이 감소하기 때문이다. 난방 성능은 기존설계, Case 2A, 2B, 4, 3A, 3B, 1의 순서로, 천정 배기 의존도에 따른 순서와 일치하고 있다.

이러한 점은 하나의 방식으로 여름철과 겨울철을 동시에 만족시키기 어렵다는 것을 보여준다. 따라서 겨울철에는 천장배기를 차단하는 가동식의 배기방식을 도입할 필요가 있음을 보여준다.

### 4.2 돈사내 암모니아농도 분포 관점

여름철의 경우 Case 1, 4 는 기존 설계에 비해 저조한 환기 성능을 보인다. 반면, Case 2A 가 기존 설계에 비해 가장 우수한 환기 성능을 나타내고 있으나, Case 2A, 3A, 3B 간의 환기성능 차이는 미미하다

겨울철에는 Case 1, 3A, 4 가 기존 설계에 비해 저조한 환기 성능을 보인다. Case 2B 가 기존 설계에 비해 가장 우수한 환기 성능을 나타내고 있으며, 여름철 우수한 환기 성능을 보였던 Case 3B도 우수한 환기 성능을 보이고 있다.

### 4.3 돈사내 기류속도 분포 관점

여름철과 겨울철 모든 Case의 평균 기류속도는 돈사 적정 기류속도인 0.25m/s 이하를 만족한다.

Case 4의 경우 기류속도가 낮아 유속측면에서 유리하지만, 세부검토결과 Cage 내에 국부적으로 0.25~0.5 m/s 의 속도 영역이 존재하여 적절하지 않은 급배기

조건이 될 수 있다.

Case 4를 제외하면 전체적으로 유속에 큰 차이가 없다.

## 4.4 사례별 환기성능평가

### 1) 여름철

기존 설계의 경우 설계 목표값을 만족하고는 있으나 최적화된 설계로 보기는 어려우며, 보다 효과적인 급배기 위치 조정을 통해 보다 적은 환기 풍량을 사용하여 설계 목표값을 만족할 수 있다

Case 1은 돈사 내부 열부하의 해소에는 매우 유리하나, 암모니아 등과 같은 유해가스 배출을 위한 환기 시스템으로는 적절치 않다

Case 2A는 열부하에 의한 상승기류를 배출하는 데 있어 비효율적인 것으로 판단된다.

Case 3A는 Case 1 과 Case 2A 의 조합을 통해 열부하 해소와 함께 유해가스 배기에 있어서도 효과적인 환기 성능을 보이고 있다.

Case 3B는 Case 3A 에 비해 다소 향상된 환기 성능을 보인다.

Case 4는 Cage 내의 열부하는 효과적으로 해소하지만, Cage 밑의 돈사 바닥에서 발생하는 유해가스를 돈사 내부에 보다 오래도록 잔류토록 하는 경우로 유해가스 배출 측면에서는 매우 불리하다

### 2) 겨울철

기존 설계가 겨울철 난방에는 매우 유리한 환기 시스템이나, 오염공기를 배출하는 환기성능은 최적화된 설계로 보기는 어렵다.

Case 1은 천정배기에만 의존하는 형태로 겨울철 난방에 있어서는 매우 비효율적이며, 암모니아 등과 같은 유해가스 배출을 위한 환기 성능도 취약하여 적절치 않은 환기 시스템방식이다.

Case 2A는 천정 배기가 없어 집열 성능이 매우 우수하고 오염공기를 신속히 배출할 수 있는 시스템으로, 겨울철 난방 및 환기 시스템으로 가장 적합하다고 판단된다.

Case 2B는 Case 2A와 비교해 유해가스 배출 성능이 상당히 향상된 특성을 보인다.

Case 3A는 Diffuser 급기인 Case 3B에 비해 난방성능은 우수하나, 그 차이는 미미하고, 이에 비해 유해가스 배기 성능이 다소 떨어진다.

Case 3B는 여름철 냉방시 천정배기를 통해 가장 우수한 열해소 및 오염공기 배출 성능을 나타냈으나, 겨울철 난방시에는 천정배기로 인해 집열 효과가 떨어진

다. 천정배기구를 가변 배기구로 할 경우 Case 2B와 같아져 겨울철과 여름철 모두 우수한 성능을 보이는 환기 시스템으로 구축이 가능하다.

Case 4는 다소 우수한 집열성능을 보이기는 하나, 유해가스 배출 측면에서는 매우 불리하다.

#### 4.5 종합

그림 6. 은 본 연구에서 고려된 여름철 무균돈사 내 환기시스템의 급배기구 위치에 관한 Case 중 최적의 Case를 제안하는 최종 결론을 도식적으로 보여주고 있다.

그림에서는 각각의 Case에 대한 온도, NH<sub>3</sub> 농도 및 속도의 평균값이 그래프로 표현되고 있다. 음영이 있는 영역은 이러한 설계변수들의 적정 영역을 의미하며, 어떠한 설계변수라도 이 영역을 벗어나게 되면, 그 Case는 부적절한 환기 시스템으로 간주된다.

결국 기존 설계안을 포함해 Case 1 및 Case 4는 최적 Case의 선정에서 제외되고, 설계조건을 모두 만족하는 Case 2 및 Case 3A, 3B 중 가장 낮은 값들을 보이고 있는 Case 3B 즉, diffuser 급기와 함께 측면, 천정 동시배기인 환기 시스템이 최적으로 판단된다.

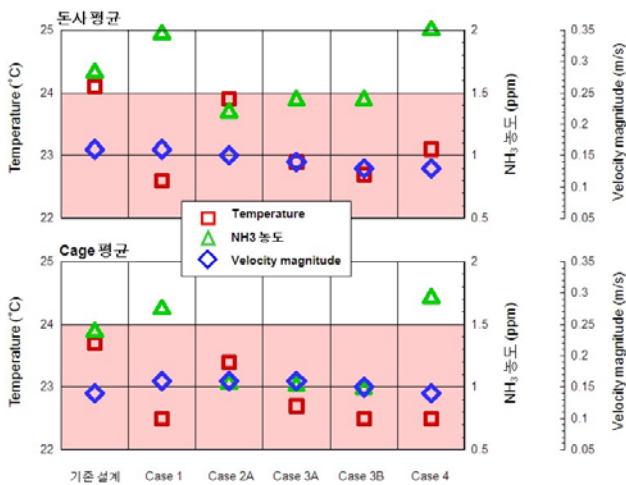


그림 6. 여름철 종합환기성능 비교도

그림 7. 은 겨울철 난방시 무균돈사 내 환기 시스템의 급배기 위치에 관한 Case 중 최적의 Case를 제안하는 결과를 도식적으로 보여주고 있다. 그림에서는 각각의 Case에 대한 온도, NH<sub>3</sub> 농도 및 속도의 평균값이 그래프로 표현되고 있다. 음영표시된 영역은 이러한 설계변수들의 적정 영역을 의미하며, 어떠한 설계변수라도 이 영역을 벗어나게 되면, 그 Case는 부적절한 환기 시스템으로 간주된다. 전체 평균 및 Cage 평균 모두에서 이러한 기준을 만족하는 경우는 Case

2A가 유일하다. 여름철 난방시 최적으로 선정되었던 Case 3B는 전체평균온도에서 기준을 조금 넘었을 뿐, Cage 평균 온도를 포함한 그 외 모든 조건을 만족하였다. 겨울철 난방 측면에서 보면 Case 2A가 최적의 환기 시스템이었으나, 4계절 모두를 고려해 보면 Case 3B가 가장 적절한 시스템으로 보이며, 천정 배기구를 개폐할 수 있도록 할 경우에는 여름 냉방 및 겨울 난방 모든 경우에 대해 최적인 환기 시스템으로 선정할 수 있을 것이다.

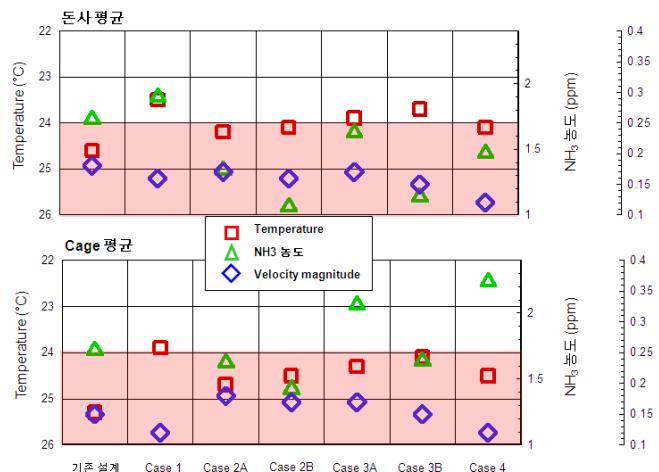


그림 7. 겨울철 종합환기성능 비교도

#### 5. 결론

고도의 청정 및 온습도환경을 요구하는 무균돈사는 건립비용이 상당하며, 더욱이 돈사내부를 적정한 온습도와 무균상태로 유지하기 위해서는 상당한 운영비용이 소요된다. 따라서 돈사내의 합리적인 급배기구 계획은 이러한 시설의 운영비를 효과적으로 절감하기 위해 필수적이다. 그러나 한국과 같이 여름과 겨울의 기후조건이 매우 다른 지역에서 경제적이고 효율적으로 무균돈사를 운영하는 것은 쉽지 않다. 특히 하나의 시스템으로 상반된 외부의 기후조건에 대응하기가 매우 어렵다. 이러한 사항은 본 연구에서도 입증되었으며, 이를 감안할 때 여름철과 겨울철에 각각 조정 가능한 가변적인 배기시스템을 운영하는 것이 필요하다는 결론을 얻었다. 즉, 여름철에는 상부(천정)급기와, 상부와 측면(벽)배기가 가장 유리하였고, 겨울철에는 상부급기와 측면배기가 효과적이기 때문에 이를 동시에 충족시키기 위해서는 무균돈사내 천장배기구를 설치하되, 여름철에만 이를 운용하고 겨울철에는 이를 차단하는 가변시스템을 도입하는 것이 효과적이다. 또한 급기구의 형태를 디퓨저형식으로 계획하는 것이 환기 성능이 더욱 향상되므로 이를 반영할 필요가 있다. 이

러한 연구결과(배기구조절이 가능한 Case 3B)는 향후 무균돈사, 또는 이와 유사한 고도의 청정환경을 요구하는 실험동물실의 건립시 급배기구 계획에 적용함으로써 실험동물실의 무균환경을 보다 효과적으로 유지하는 동시에 시설의 운영비용을 절감하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 다만, 본 연구에서는 봄철이나 가을철과 같은 중간기에 대한 분석이 이루어지지 않았기 때문에 이러한 작업을 보완함으로써 사계절 자동적으로 배기구를 조정할 수 있는 시스템으로 발전시키는 과제가 남아 있다.

접 수 : 2008년 9월 28일  
1차 심사 완료 : 2008년 10월 20일  
최종 수정본 접수 : 2008년 11월 5일  
3인 익명 심사 필

#### 참고문헌

1. 경기개발연구원, 바이오 장기생산연구시설 건립 기본계획 및 타당성 조사, 경기도, 2004.12
2. 국립독성연구원, 실험동물의 사용 및 관리를 위한 안내서, 도서출판 국진, 2005.10
3. 권순정, 무균돼지사육시설의 동선계획에 관한 연구, 한국의료복지시설학회지, 2006.10
4. 권순정, 성제경, 염수청, 무균돼지 사육시설 계획을 위한 사례연구, 한국의료복지시설학회지, 2006.03
5. 대한의학회, 동물실험지침, 대한의학회, 2000.3
6. 박봉균, 권순정, 성제경, 장기이식용 무균돼지 생산을 위한 GMP시설 기준안 연구, 바이오장기 생산 연구, 농림부, 2007.2
7. 이신호, 김미희, 권순정, 여명석, 바이오장기 생산 연구시설건립 입찰안내서, 한국보건산업진흥원, 2005.3
8. 한상섭, 이민재 외, 한국 실험동물시설 편람, 도서출판 바로, 2001
9. AAALAC International,, Association for Assessment and Accreditation of Laboratory Animal Care, 2005
10. Adrian Bejan, "Convection Heat Transfer (2nd edition)", 1995, pp.190-191.
11. ASHRAE Handbook, Fundamentals Handbook (SI), 1993
12. Kim I, H., 2001, Environment-friendly pig and feed, Vol. 5, Journal of Swine Co-operative Promotion
13. Theodorus Ruys (Editor), Handbook of Facilities Planning, Vol. 2, Laboratory Animal Facilities, Van Nostrand Reinhold, N.Y., 1991