

돈사 덕트 환기시스템의 효율 분석

송준익 · 유용희 · 이덕수 최희철 강희설 김태일 전병수 박치호 · 김형호
축산기술연구소

Analysis of Ventilation Efficiency by Duct System in Pig House

Song, J. I, Yoo, Y H., Lee, D. S, Choi, H C., Kang, H. S, Kim, T I.
Jeon, B S, Park, C. H. and Kim, H H

National Livestock Research Insitute, R. D. A, Suwon 441-350, Korea

Summary

The experiment was carried out to investigate the optimal air velocity for improving the ventilation efficiency of duct ventilation system used in Korean swine buildings. The results are followed ;

In 2.2 m height of duct, the air velocity of hole was 5.0 m/s as the over level of recommendation.

In different hole interval, the air velocity was various of 4.6~11.6 m/s in narrow hole interval, 5.4~10.9 m/s in broad hole interval. But the air velocity was 6.6~7.7 m/s in duct system pierced hole with equal interval, and it was equal velocity in different parts of duct in this hole interval.

(Key words : Duct, Ventilation system, Air velocity, Hole)

서 론

유럽이나 미국 등의 양돈 선진국들의 기후 환경과는 달리 우리 나라는 4계절이 뚜렷하여 기존의 여러 환기시스템이 도입되었음에도 우리 나라의 기후조건에 적합한 돈사환기 방식은 거의 없는 실정이다. 축사에 있어서 환기시스템의 설계에서는 흡입된 공기의 양과 분포는 상당히 중요하며, 공기의 입구는 공기의 분포에 가장 큰 영향을 미치며 기술자들은 제어의 목적을 이루기 위해서 여러

가지 형태의 덕트(duct)를 사용할 수 있다.

환기덕트의 설계는 세 가지 방법으로 나눌 수가 있는데, 첫째, 덕트의 길이에 따라 덕트 배출 면적을 변화시키는 것과 둘째, 덕트벽의 조도(roughness) 정도를 변화시키는 것, 그리고 셋째, 덕트의 단면적에 대한 유효 배출 면적을 감소시키는 방법이 있으며 그 중 첫째의 방법이 가장 현실적이며 널리 사용된다.(Schaper, 1976).

덕트에서 나오는 입기공기의 속도에 대한 연구는 입기공기의 속도를 증가시키면 적정

공기 속도의 영향을 받는 바닥 면적을 증가 시키므로 2차 공기 순환의 속력의 증가에 따라 증가한다(Walker, 1977)고 하였는데, 특히 동물들의 행동은 축사내에서 가장 열역학적으로 편안한 장소를 찾아다니는데, 더운 여름철에는 공기속도가 높은 곳에 모인다는 것을 알 수 있으며 만약 공기흐름이 없으면 먼지의 집적이 일어난다고 하였다(Griffin, 1972). 따라서 최대실질 환기효율에 의하여 공기속도는 대단히 중요하며 과다한 환기없이 환기를 통해서 습도를 제어한다는 것은 어렵다는 것은 연구자들은 알고 있으며 낮은 공기순환은 공기 성분의 질이 저하되거나, 가스 등의 발생을 (Charles, 1981; Clark and Cena, 1981) 증가 시킨다고 하였으며, 겨울철이라도 최소환기를 위한 이론식 등은 주로 현열을 기초로 정립되었다(Bruce, 1981a; Albrigh, 1990), Cole, 1980), (Burnett and MacDonald, 1987).

현재 우리 나라의 원치돈사에서는 겨울철 환기를 위한 시설로 지붕배기 시설은 많이 이루어져 왔다. 그러나 입기가 없는 상태에서의 배기효과는 불량하여 이천 및 안성지방을 중심으로 신선한 공기의 입기를 위한 시설 즉, 축벽에서의 덕트를 통한 입기시설을 많이 하고 있다. 덕트내에서의 고른 공기유속을 유도하고 있지 못하는 실정으로 덕트를 통한 환기시스템에 대한 이론 및 공기유속에 관한 기본정립은 덕트를 이용한 이론식 및 해석은 Carpenter 등(1972)과 Walker(1977) 등에 의하여 정립이 되어 있으나, 우리 나라 축산농가에서는 아직 까지 이론이 정립되어 있지 않아 많은 시행착오를 겪고 있는 현실이므로 본 연구는 우리 나라에 보급되어 있

는 덕트를 이용한 환기시스템의 효율적인 천 공간격 및 적정 공기유속을 도출하고자 본 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

시험장소는 축산기술연구소내에서 실시하였으며, 환기방식은 Table 1과 같이 환기방식은 덕트에 유속을 공급할 수 있는 송풍팬을 이용한 양압방식의 강제입기 방식으로 하였으며, 덕트는 길이 30m, 지름 30cm인 비닐덕트를 이용하였고 덕트의 고정 높이는 바닥으로부터 2.2m 지점에 설치하였다. 그리고 덕트에서의 천공은 덕트내에서의 공기분산에 효율이 가장 좋다(Kruger 등, 1992)고 한 지름 50mm로 천공을 하였고, 천공간격은 첫째, 덕트거리를 입기팬(100cm)으로부터 거리가 멀어질수록 50cm로 좁아지도록 하였으며, 둘째로는 덕트길이를 4등분의 비율간격으로 등분내에서는 같은 간격으로 하였고(57 → 90cm), 셋째로는 첫 번째와 반대로 입기팬으로부터 갈수록 (50 → 100cm) 크게 하였으며 강제환기 입기팬의 풍량은 수동 조절기로 전압을 조절하여 8.35CMM으로 일정하게 하였다.

환경조사는 측정지점은 Fig. 1과 같이 하였고 Table 2와 같은 장비 및 환기팬을 이용하여 계측하였으며, 덕트내에서의 천공간격은 Table 3과 같이 3종류로 나누어 천공을 하였으며, 천공 개수는 공통으로 36개를 천공하였으며, Table 4와 같이 4등분으로 나눈 비율내에서 같은 간격으로 9개씩 같은간격으로 천공을 하였다. 환경 측정지점은 상부는 공기유속이 가장 빠르게 측정되는 덕트 천공에

Table 1. Experimental design of the ventilation

Ventilation system	Ventilation type	Inlet	Hole size	Inlet system
Duct	Positive pressure	Circular duct	5cm	Inlet fan in exiting duct

Table 2 Specifications of measurement instrument

Environmental factors	Model	Specification
Air speed(recoder)	Kanomax 6242	64 channels
Air speed	Solomat 510e, Kanomax 6112	0~12, 0~50 m/s
Ventilation fan	DJF-25, ϕ 250	Max. 810 m ³ /hr

Table 3. Hole interval and size of ventilation duct

Hole type	Hole interval	Hole size	Duct diameter
Narrow	100 cm → 50 cm	5 cm	30 cm
Equal	57 cm → 90 cm		
Wide	50 cm → 100 cm		

Table 4 Hole section of duct

Section	1	2	3	4
% of length	37	26	20	17

* MWPS- 32.

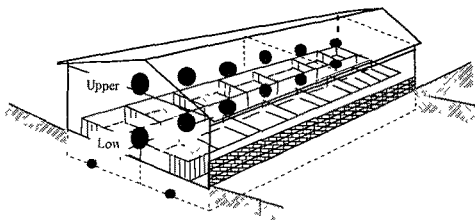


Fig. 1 Measurement locations

서의 하단 5cm 전후지점과 천공 중앙선 하단부위(돼지 생활높이 20cm 지점)에 총 6개소(상, 하 지점 12지점)에서 측정 되었다. 그리고 이론식은 Fig. 2와 같이 Walker(1977)의 제트의 자유이론($V/V_x = e^{-\alpha x^2}$)을 바탕으로 이론식을 구성하였다.

결과 및 고찰

1. 입기공기 속도부하 분석

온사환기 방식은 여러방식이 있지만 덕트

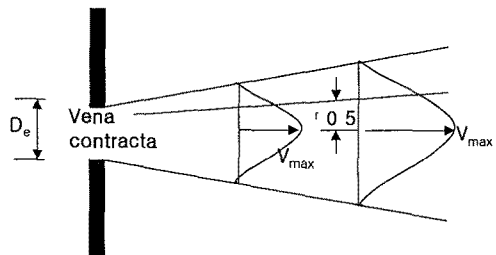


Fig 2 Development of velocity profile in a circular free jet

를 통한 환기를 할 경우 덕트에서의 천공(ϕ 50mm일 때가 가장 효율이 좋음)을 통하여 나오는 공기속도가 천공에서의 중앙지점 하단의 도달거리에 대한 거리부하는 식(1)을 이용하여 분석하였다.

$$v_{max}, X = K \text{vinlet} (D_e/x) \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

v_{max} : 최대 공기속도, m/s

x : 거리, m

K : 상수, 5.96

V_{inlet} : 입기구 공기속도, m/s
 D_e : 천공 지름, m

일반적으로 덕트내에서의 정압은 50 Pa 이 내로서, 베르누이(Bernoulli's) 방정식을 이용한 입기구의 공기속도는 식(2)로 계산되며, 천공으로부터 나오는 공기유속의 효율은 식(3)으로 계산된다.

$$V_{inlet} = \sqrt{2(\Delta P/\rho)} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

V_{inlet} : 입기구 공기속도, m/s

ΔP : 정압, Pa

ρ : 공기밀도, kg/m³(공기밀도는 1.24 kg/m³)

$$D_e = D\sqrt{C_d} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

D_e : 천공 지름, m

C_d : 효율, 거리 및 속도

위의 식에 의한 입기공기 속도부하 분석 결과 덕트 천공 높이를 약 2.2m 전후로 했을 때 여름철 창문의 개폐없이 돈사바닥에서의 적정 공기속도(0.5 m/s)를 유지할 수 있는 덕트천공에서의 공기속도는 취출기류의 속도분포식에 의한 분석 결과 4.9m/s로 나타났으며, 이것은 일반적으로 알려져 있는 입기공기, 즉 지속적인 입기구에서의 공기속도는 5m/s 전후가 되어야 한다고 한 기존의 연구결과

(MWPS-32. KPIRS, 2001)와 음압환기시스템 이라도 입기공기구의 속도가 4.06~5.08m/s 사이라고 요구한 연구 (MWPS-32. 1990)결과와 거의 같게 나타났는데, 실제 현장 적용에서는 폐지체열에 의한 공기온도의 상승도 작용할 것으로 생각되지만, 이론적인 공기유속 결과와 현장 실험결과에서 얻어진 추천되고 있는 수치가 동일한 결과이므로 향후 덕트천공에서의 적정 공기유속은 구할 수 있음을 알 수 있었다.

2 천공간격에 의한 온도분포

Fig. 3은 덕트를 통한 환기에서 거리별 온도분포를 나타낸 것으로 천공간격에 따른 공기 유속은 거의 일치하였으며(Fig. 3 참조), 환기가 잘 될 경우 돈방내 전체적인 공기흐름을 유도하여 수직·수평 공간에서 공기 온도의 균일성을 가져와 공기 분배의 효과를 결정하는 변수로 고려할 수 있다고 한 Wilson 등(1977)의 보고와 비교하여 돈방내 상하부 공간 간의 온도차이는 ±1℃ 이내로 거의 유사하여 천공 간격에 의한 천공비율이 효율이 높음을 알 수 있었다.

3 천공간격에 의한 공기유속

입기팬의 풍량을 8.35Cmm으로 고정을 한 후 천공간격별 공기유속 측정결과는 Table 4와 같으며, 덕트에서의 천공간격을 좁아짐

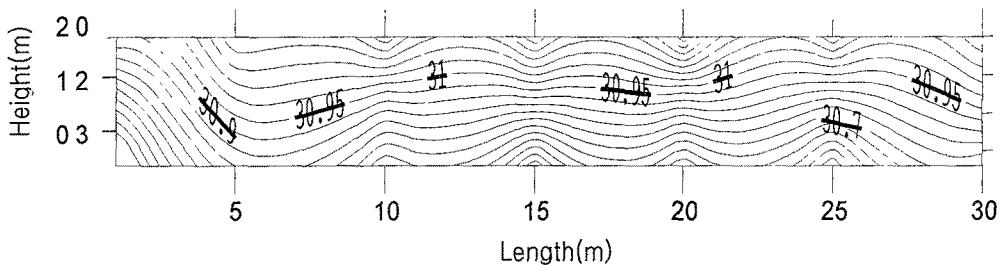


Fig 3 Horizontal temperature distribution of the enclosed swine house in summer

Table 5. Effect of air velocity in different hole interval

(Unit : m/s)

Hole interval \ Location	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m
Narrow	11.6 ± 0.6	9.6 ± 0.8	7.8 ± 0.5	5.9 ± 0.7	5.1 ± 0.9	4.6 ± 0.8
Equal	7.3 ± 0.9	7.2 ± 0.6	7.2 ± 0.6	7.0 ± 0.5	6.7 ± 0.4	6.6 ± 0.7
Wide	5.4 ± 0.4	7.3 ± 0.5	8.7 ± 0.6	9.2 ± 0.6	9.5 ± 0.3	10.9 ± 0.6

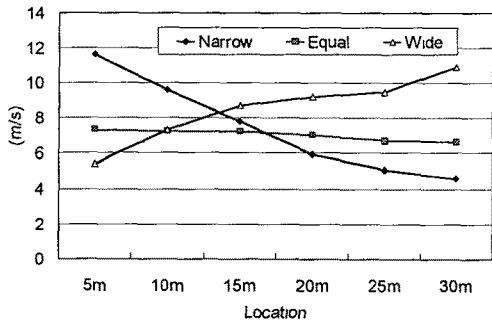


Fig. 4. Effect of air velocity in different hole interval.

(100 → 50cm), 등간격(57 → 90cm) 그리고 넓어짐(50 → 100cm)의 3가지로 구분하여 실험을 한 거리간 결과는 Fig. 4와 같다. 실험 결과 천공거리가 좁아질 경우 5m 지점에서의 바닥지점 부근 풍속이 11.6m/s 였으나, 30m 지점에서는 4.6m/s로 풍속이 느려졌고, 천공간격이 넓어질 경우 입기팬으로부터 5m 지점에서의 바닥지점 부근 풍속이 5.4m/s 였으나 30m 지점에서 10.9m/s로 2배 가량 풍속이 빨라져 5 m 지점과 30m 지점간의 풍속의 차이가 심하였으나, 덕트천공 간격을 일정하게 했을 경우 공기유속은 6.6~7.3m/s로 거리간 덕트천공 간격을 57~97cm로 천공한 것이 거리간 큰 차이 없이 균일함을 알 수 있었으며, 덕트비율내에서 천공간격을 다르게 한 본 실험과 덕트의 길이에 따라 덕트 배출면적을 변화시키는 것이 가장 우수하다고 한 Schaper 등(1976)의 보고와 일치하였다. 또한 천공은 지름 50mm일 때가 가장 효율이 좋다

고 한 것으로 보아 덕트의 거리가 36~40m까지의 천장 천공규격이 4.6cm이어야 한다고 한 Walker 등(1975)의 보고와 유사하였으며, 밀폐된 축사내에서 공기를 위에서 아래로 보내는 공기분배가 가장 효과적이라고 한 Hellickson 등(1973)의 연구 중 천장 아래로의 배출에서 7.5m/s 전후가 아주 좋은 환기효율을 얻었다고 한 결과와 일치하였다.

따라서 환기가 제대로 될 경우 돈방내에서의 공기유속 분포는 거의 유사하다고 한 Boon and Battams(1988)의 보고에서 환기가 우수 할 경우 특히 에너지 비용을 20% 이상 줄여줄 수 있다고 하여 본 실험에서 덕트의 천공분배에 의한 공기유속이 일정하여 에너지 비용을 줄여 줄 수 있을 것으로 판단되었다.

결 론

덕트를 통한 돈사 환기시스템에 대한 이론 및 공기유속에 관한 기본정립이 되어 있지 않아 많은 시행착오를 겪고 있는 현실이므로 본 연구는 우리 나라에 많이 보급되어 있는 환기시스템 중 덕트를 이용한 환기시스템의 효율적인 적정 공기유속을 도출하고자 하였으며 실험결과는 다음과 같다.

1. 공기속도 분석 결과 덕트의 높이가 2.2m 전후일 경우에는 덕트 천공에서의 공기속도 5m/s 이상으로 나타나 일반적인 이론치를 만족하였다.

2. 덕트를 통한 환기시스템을 통하여 돈사

내 온도분포를 분석한 결과 돈방 상하간의 온도분포는 1°C 이내로 나타나 덕트비율에 의한 천공분배 효율이 우수하였다.

3. 덕트천공 간격형태에 의한 공기유속을 측정 한 결과 좁아짐은 4.6~11.6m/s, 넓어짐은 5.4~10.9m/s로 거리간의 공기유속 차이가 많이 낮지만, 등간격에 의한 공기유속은 6.6~7.3m/s로 덕트길이와 관계없이 일정한 공기유속을 유지하였다.

인 용 문 헌

1. Albright, L. D. 1990. Environment Control for Animals and Plants. ASAE Textbook Number 4. The American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Michigan, USA, 453p.
2. Burnett, G. A. and MacDonald, J. A. 1987. ACNV in pig finishing houses : temperature control in winter. Farm Building Progress. 87, 27~31. ACNV (automatically controlled natural ventilation)
3. Bruce, J. M. 1981a. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In: Clark, J. A. (ed.), Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths, London. pp. 183-195.
4. Carpenter, G. A. 1972. The design of permeable ducts and their application to the ventilation of livestock buildings. Journal of Agricultural Engineering Research. 17. 219-230
5. Charls, D. R. 1981. Practical ventilation and temperature control for poultry. In: Clark, J. A. (ed.), Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths, London. pp. 183-195.
6. Clark, J. A. and Cena, K. M. 1981. Monitoring the house environment. In: Clark, J. A. (ed.), Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths, London. pp. 309-330.
7. Cole, G. W. 1980. The derivation and analysis of the differential equations for the air temperature of the confined animal housing system. TRANSACTIONS of the ASAE 23:712-720.
8. Griffin, J. G. and Vardaman, T. H. 1972. Summer ventilation rate : Effect on environment and broiler performances in windowless housing in the south. TRANSACTIONS of the ASAE 15(3):548-551.
9. Hellickson, M. A., Young, H. G. and Witmer, W. G. 1973. Baffled center ceiling ventilation inlet. TRANSACTIONS of the ASAE. 16(1):145-147.
10. KPIRS. Swine Production Management Workshop. 2001. Proper Equipment Selection and Installation for Mechanical Ventilation. p63-150.
11. Kruger, L., Taylor, G. and Crosling, F. 1992. Summer cooling. Australian Pig Housing Series. p67.
12. MWPS. 1990. Mechanical Ventilating Systems for Livestock Housing. Publication MWPS-32. Midwest Plan Service. Iowa state university, Ames, IA.
13. Schaper, L. A., Cloud, H. and Lundstrom, D. 1976. An engineering evaluation of potato storage ventilation system performance. TRANSACTIONS of the ASAE. 19(3):584-590.
14. Song, J. I. and Choi, H. L. 2002. Evaluation of Ventilation Systems in an Enclosed Nursery Pig House. Journal of animal science and technology. 44(1):123-134.
15. Walker, J. N. and Duncon, G. A. 1975. Air circulation in greenhouses. Coperative Extension Service. AEN-18. University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, December.
16. Walker, J. N. 1977. Review of the theoretical relationships of isothermal ventilating air jets. TRANSACTIONS of the ASAE 20(3):517-522.