

畜舎의 換氣量 決定을 위한 새로운 換氣그래프 開發

Development of New Conceptual Ventilation Graphs for Mechanically Ventilated Livestock Buildings

崔 弘 林* · 金 羽 中** · 金 鉉 台*
Choi, Hong Lim · Kim, Woo Joong · Kim, Hyeon Tae

Summary

Since ventilation in livestock buildings is critical for indoor air quality, the first step in designing environmental control is to determine required ventilation rate. The purpose of the study was to suggest a conceptually new ventilation graph for determining minimum/maximum ventilation rate based on the conservation law of the thermal energy and mass in livestock buildings. PC-based programs coded with PASCAL language, 「RVALUE」 for overall thermal resistance of composite structural walls/ceilings, 「POLYNOM」 for coefficients values of animal's sensible heat equation were involved in developing a computer program, 「VENTGRPH」 for the determination of ventilation rate. It would be useful for design, for such a program would permit the designer to explore various design options and immediately, see the result in terms of its effect on minimum ventilation rates.

I. 研究의 背景

현재 우리나라의 畜産은 축산물 수입개방에 대한 경쟁력 提高를 위한 畜舎의 大型化, 密閉化, 高密度化 경향이 뚜렷하다. 그러나 대형의 밀폐된 고밀도 축사는 가축(가금 포함)을 위한 쾌적한 실내환경을 전제로 하기 때문에, 기계적으로 실내환경을 적절히 제어하지 않으면 안

된다. 제한된 공간에 먼지(부유물질 포함), 病原性 또는 非病原性 미생물, 유해기체, 수분 등 오염물질의 과도한 집적으로 인하여 가축의 질병을 유발하며, 밀폐와 고밀도로 인한 과도한 열부하로 집단폐사 등, 생산 또는 재생산에 심각한 영향을 미칠 수도 있다.^{3,7,8,14)} 그러므로 대형의 밀폐된 고밀도 축사에서는 생산주체인 가축과 작업인이 쾌적한 상태에서 생산 및 재

* 慶尙大學校 農科大學

** 晉州農林專門大學 農業土木學科

키워드: 換氣, 환기량, 환기그래프, 축사온도, 습도, 오염물질, 설계기준

생산 활동에 참여할 수 있도록 실내환경을 제어하는 것이 무엇보다도 중요하다.

밀폐공간내의 환경을 제어하기 위해서는 각종 오염원으로부터 발생된 오염물질을 「환기(ventilation)」를 통하여 희석시키는 것이 가장 현실적인 방법으로 인식되고 있다.¹¹⁾ 일반적으로 밀폐된 축사에서 환기로 제어해야 할 주요한 환경인자는 熱的環境(thermal environment)인자에 속하는 실내온도와 습도 및 化學的環境(chemical environment)인자에 속하는 먼지나 유해기체 등의 오염물질로 알려져 있다. 환기에 의한 실내의 공기유동은 온도, 습도, 오염물질 등의 실내분포를 결정하므로 축사 환기시스템의 효율이 좋은 경우, 실내온도와 습도를 위한 환기는 오염물질 제어를 자동적으로 이룰 수 있다고 믿어왔다. 이러한 가정에 근거하여 전형적인 환기그래프를 제시하기도 하였다.^{2,3,14)} 그러나 최근 이러한 가정에 대한 반론이 제기되고 있다.⁵⁾ 그 이유중 하나는 전형적인 환기그래프는 쾌적한 실내환경을 위한 제어인자 중 온도와 습도만을 포함하고 생산시스템에 따라 보다 중요한 환경인자인 먼지, 유해기체의 농도 등을 배제하므로써 제기된 환기그래프의 신뢰성 문제이며, 다른 하나는 미세한 입자의 오염물질은 공기유동에 의해 이동되므로 오염물질의 분포해석에는 별다른 문제가 없으나, 입자가 상대적으로 클 경우, 공기유동에 의해서 부분적으로 이동됨으로 환기그래프에 의해 결정된 환기의 효율성문제이다.

그러나 온도, 습도 외에 화학적 환경인자를 환기그래프에 포함하려해도 이들 인자에 대한 실내에서의 발생량을 측정하기 어렵고,^{2,17)} 이들이 급여시스템, 분뇨처리시스템, 환기시스템 등과 상호관련되어 있으므로 독립적으로 定量化가 어렵다. 또한 공기의 운동량(momentum)과 오염물질 입자의 중력에 의한 낙하운동의 관계를 미시역학적으로 구명해야 하는 어려움 때문에 현재 일부 학자들에 의해서 거론되고

있을 뿐 이에 대한 구체적인 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다.^{3,10)}

그러므로 본 연구는 전형적인 환기그래프에 오염물질 제어를 위한 환기율을 고려하여 최소 및 최대환기율 결정하는 새로운 개념의 환기그래프를 제시하고자 하였다. 보다 구체적으로 夏期, 冬期의 기상조건이 주어졌을 때 축사내의 온도, 습도 및 오염물질 제어를 위한 환기율을 결정할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 만들어, 이들의 상호관계를 구명한 환기그래프를 제시함으로써 최소환기율 및 최대환기율을 결정하고, 축사의 환기시스템설계에 필요한 定量的 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

II. 數學模型

1. 熱平衡方程式

Fig. 1과 같이 축사를 제어체적(control volume)이라 보면 제어체적내의 온도는 외기온이 주어졌을 때 「획득열과 실내에서 생성된 열의 합은 손실열과 실내에서 소멸된 열의 합과 같다」는 正常狀態의 에너지보전의 법칙인 식(1)에 의하여 결정된다.^{4,6,15)}

$$\text{획득열} + \text{생성열} = \text{손실열} + \text{소멸열} \dots\dots(1)$$

식(1)의 개념에 기초를 두고 축사의 현열평형에 영향을 미치는 변수들을 획득열과 손실열로 분류하여 열평형식을 만들면 식(2)와 같다.

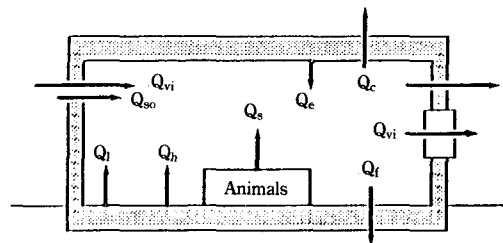


Fig. 1. Contributors to a sensible energy balance in a livestock building

$$Q_s + Q_e + Q_{so} + Q_h/Q_c + Q_{vi} = Q_{vo} + Q_w + Q_f + Q_i \dots\dots\dots (2)$$

식(2)를 실제 이용가능한 열평형식으로 만들기 위해서 量的 次元(the order of magnitude)을 이용하여 해석하면, 다른 항에 비해서 상대적으로 크기가 작은 Q_{so} , Q_i 은 무시하여 식(3)과 같이 간략하게 쓸 수 있다.

$$Q_s + Q_e + Q_h/Q_c = (Q_{vo} - Q_{vi}) + Q_w + Q_f \dots\dots\dots (3)$$

실제 외기는 변화에 따른 환기율을 결정하기 위해서, 열평형식(3)의 각 항의 크기에 영향을 미치는 변수의 함수로 표현하지 않으면 안된다.

가. 각 환경변수의 크기

1) 가축(가금 포함)의 顯熱 발생(Q_s)

가축은 「生體恒常性 homeostatics」의 생리작용¹³⁾에 의하여, 일정한 생체조건을 유지하려 하기 때문에 주위온도에 대해서 탄성적으로 반응한다. Fig. 2는 Data D270.4⁹⁾로 보고된 산란계의 실내온도에 따른 현열, 잠열 및 수분발생율을 나타낸 것이다. 축사의 실내 열환경에 영향을 미치는 가축의 현열발생은 일반적으로 식(4)와 같이 실내온도의 함수로서 2차 다항식으로 표현된다.

$$Q_s = \alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2 \dots\dots\dots (4)$$

2) 피복면을 통한 傳導열전달(Q_w)

축사의 벽면, 지붕 등을 통한 열전달은 기본적으로 식(5)와 같이 室内外 온도의 差, 벽체와 지붕의 단열정도에 따라 결정된다.

$$Q_w = UA(t_i - t_o) \dots\dots\dots (5)$$

3) 환기에 의한 열손실(Q_{vi} , Q_{vo})

환기에 의한 열전달항은 외부에서 실내로 유입되는 공기로 인한 열획득항(Q_{vi})과 내부에서 외부로 배출되는 공기로 인한 열손실항(Q_{vo})으로 구성되어 있다. 축사내 가축의 호흡으로 인한 실내공기중 수분의 증가로 배출공기가 유입공기보다 공기질량이 약간 크지만, 이를 무시하여

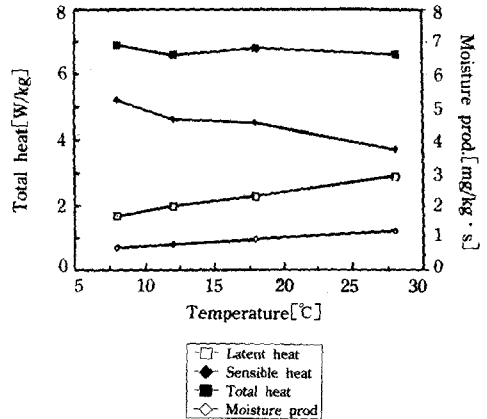


Fig. 2. Heat dissipation rates and moisture production for laying hens

공기의 밀도를 일정하다고 가정하면 식(6)에서와 같이 입출되는 환기공기의 현열은 실내외 공기온도의 差와 환기율의 함수로 표현할 수 있다.

$$Q_{vo} - Q_{vi} = \rho C_p \dot{V}(t_i - t_o) \dots\dots\dots (6)$$

4) 바닥을 통한 전도열전달(Q_f)

축사의 바닥은 일반적으로 콘크리트 슬래브 (slab) 기초로 되어 있으며, 기초 주변을 수직방향으로 안/밖을 단열시키기도 한다. 바닥을 통한 열전달도 기본적으로 피복면을 통한 열전달식(5)와 마찬가지로 실내외 온도차, 外周長(perimeter) 및 外周의 열전달계수 등의 함수이다.

$$Q_f = FP(t_i - t_o) \dots\dots\dots (7)$$

나. 환기율결정

주어진 외부 기상조건에 따른 환기율, 실내 온도 등의 물리적인 변수를 결정하기 위해서 축사내 열평형에 영향을 주는 각 환경변수의 크기를 나타낸 식(4)~(7)을 식(3)에 대입하면 식(8)을 얻는다.

$$(\alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2) + Q_e + Q_h/Q_c - \rho C_p \dot{V}(t_i - t_o) + UA(t_i - t_o) + FP(t_i - t_o) \dots\dots\dots (8)$$

외기온과 실내 설정온도가 주어졌을 때, 축사내 설정온도를 유지하기 위한 환기율을 예측하기 위해서 식(8)을 환기율(\dot{V})에 대해서 정리하면 식(9)와 같다.

$$\dot{V} = \frac{(\alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2) + Q_c + Q_h/Q_c - (UA + FP)(t_i - t_o)}{\rho C_p(t_i - t_o)} \dots(9)$$

2. 質量平衡方程式

가. 수분평형방정식

축사의 실내공간에서 유동하는 공기는 濕空氣로 공기중에 포함되어 있는 수분은 질량을 가지므로 Fig. 3과 같이 축사내에서 「획득질량과 실내에서 생성된 질량의 합은 손실질량과 실내에서 소멸된 질량의 합과 같다」는 定常狀態의 질량보전의 법칙인 식(10)에 의하여 결정된다.

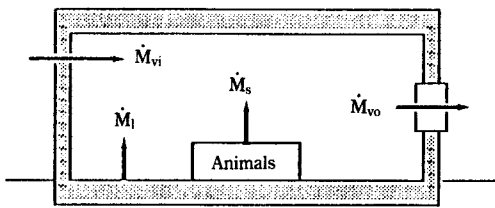


Fig. 3. Mass balance for a single air space

$$\text{획득수분} + \text{생성수분} = \text{손실수분} + \text{소멸수분} \dots(10)$$

축사내의 수분은 크게 두 가지 생성원에 의해서 발생된다. 하나는 가축에 의한 것이며, 다른 하나는 분뇨의 수분증발에 의한 것이다. 가축에 의한 수분발생은 주로 호흡기를 통한 것으로, 이는 가축의 수, 畜種, 체중 등에 따라 다르다. 온도에 따른 산란계의 수분발생율은 Fig. 2와 같이 온도에 비례한다. 식(10)의 개념에 기초를 두고 축사내의 여러 변수에 의한 획득수분과 손실수분의 평형식을 만들면 식(11)과 같다.

$$\dot{M}_s + \dot{M}_l + \dot{M}_{vi} = \dot{M}_{vo} \dots(11)$$

실제 외기온의 변화에 따른 질량평형식에 의해

환기율을 결정하기 위해서, 식(11)의 각 항의 크기에 영향을 미치는 변수의 함수로 표현해야 한다.

1) 가축(가금 포함)에 의한 수분발생

주요 축종에 따른 체중당 단위시간당 수분발생량은 Data 270.4⁷⁾에 보고되어 있다. 예를 들어 산란계의 온도에 따른 수분발생은 Fig. 2와 같다.

2) 환기에 의한 수분획득 및 손실

환기에 의해 획득되는 공기중의 수분함유율은 식(12)와 같이 유입공기의 밀도, 습도비 및 환기율의 함수이며, 실내에서 배출되는 공기중의 수분함유율은 식(13)과 같이 배출공기의 밀도, 습도비 및 환기율의 함수이다.

$$\dot{M}_{vi} = \rho_o \dot{V} W_o \dots(12)$$

$$\dot{M}_{vo} = \rho_i \dot{V} W_i \dots(13)$$

3) 환기율 결정

주어진 외부조건에서 실내의 수분제어를 위한 환기율을 결정하려면 식(12)~(13) 및 가축에 의한 수분발생 등을 식(11)에 대입하면 식(14)을 얻는다. $\rho_i \cong \rho_o$ 이므로 바닥면으로부터의 수분발생율은 다른 항에 비해서 작기 때문에 이를 무시하여 환기율(\dot{V})에 대해서 정리하면 식(15)와 같다.

$$\dot{M}_s = \rho_i \dot{V} W_i - \rho_o \dot{V} W_o \cong \rho \dot{V} (W_i - W_o) \dots(14)$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{M}_s}{\rho(W_i - W_o)} \dots(15)$$

나. 이산화탄소 평형방정식

환기율을 결정하기 위해서 앞에서 언급한 온도와 습도외에, 화학적 환경인자에 속하는 오염물질도 포함되어야 한다.^{3, 10, 14)} 그러나 오염물질의 종류가 먼지, 암모니아, 유화수소, 이산화탄소, 미생물, 부유물질 등 다양하므로 이들 모두를 고려할 수 없기 때문에 이들 인자중에서 상대적으로 정량화가 쉽고, 질식의 우려가 있는

이산화탄소를 오염물질의 대표인자로 간주하였다. 축종, 지역, 기상조건에 따라서 암모니아, 먼지 등을 대표인자로 다룰 수도 있으나 정량화의 어려움이 있다. 이산화탄소도 질량을 가지므로 Fig. 3과 같이 식(10)의 「질량보전의 법칙」의 지배를 받는다.

1) 가축(가금 포함)에 의한 이산화탄소 발생

축사내 이산화탄소 발생은 물질대사의 副産物로서 생화학적 물질대사 과정에 따라 全熱발생에 비례한다. 즉, 가축에 의한 全熱발생량 24.6 kJ마다 1l의 이산화탄소를 발생한다. 이산화탄소는 분뇨의 분해나 가축의 소화과정에서도 발생하나 이는 가축의 호흡에 의한 발생에 비하면 거의 무시할 정도다.

2) 환기에 의한 이산화탄소의 획득 및 손실

환기에 의해 유입되는 공기중의 이산화탄소 농도는 식(16)와 같이 유입공기의 밀도, 환기율 및 이산화탄소 함유율의 함수이며, 실내에서 배출되는 공기중의 이산화탄소 농도는 식(17)와 같이 배출공기의 밀도, 환기율 및 이산화탄소 함유율의 함수이다.

$$\dot{C}_{vi} = \rho_o \dot{V}(C_{co2})_o \dots\dots\dots(16)$$

$$\dot{C}_{vo} = \rho_i \dot{V}(C_{co2})_i \dots\dots\dots(17)$$

입출공기의 밀도변화가 없다고 가정하여 식(11)에 기초한 체적단위의 축사내 이산화탄소 획득과 손실의 균형식(11)에 식(16), (17)을 대입하면 식(18)을 얻는다.

$$\dot{V}_s = \dot{V}_{vo} - \dot{V}_{vi} = \dot{V}(C_{co2})_o - \dot{V}(C_{co2})_i \dots\dots\dots(18)$$

이산화탄소 제어를 위한 환기율을 결정하기 위해서는, 식(18)을 \dot{V} 에 대해서 정리하면 식(19)와 같다.

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_s}{(C_{co2})_i - (C_{co2})_o} \dots\dots\dots(19)$$

III. 환기그래프를 위한 컴퓨터 프로그램의 응용

외부의 기상조건에 따른 축사내의 온도, 습도 및 이산화탄소를 제어하기 위한 환기시스템에 의한 환기율 결정은 기본적으로 식(10), (15), (19)에 의해서 결정되며, 환기율결정을 위한 컴퓨터 프로그램의 흐름도는 Fig. 4와 같다.

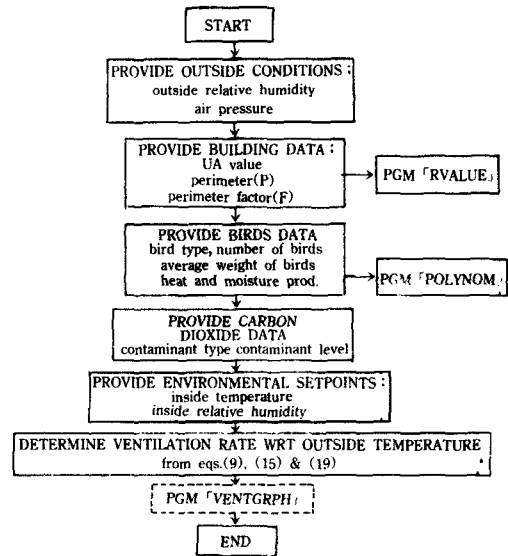


Fig. 4. Flowchart of computer program for ventilation rate in livestock buildings

1. 適用鷄舍

환기율결정을 위한 Fig. 4의 논리를 따라 만든 컴퓨터 프로그램 「VENTGRPH」의 실용성을 검토하기 위하여 <適用鷄舍>를 통하여 그 결과를 분석하면 다음과 같다.

진주근교의 양계농가 A는 강제환기시설을 갖춘 無窓계사내에 首當 평균체중 1.8kg의 산란계 10,000首 사육하고 있다(표준 사육밀도의 약 2.5 배). 계사는 標高 500m상에 위치하며 계사의 크기는 폭이 12.4m, 길이 66.6m, 높이가 3m이다

(축사 -89-10,000-다)¹⁾. 약 16.5cm인 벽체는 3孔 콘크리트 블럭, Polystyrene board 단열재, 防水膜, 석고보드, 안마감재 등으로 구성되어 있으며 소저항값이 1.75m²K/W이다. 두께가 약 8.5cm인 천정은 광섬유로 된 단열재와 防水膜, 합판 등으로 구성되어 있으며 소저항값은 약 1.96 m²K/W이다. 계사의 측벽과 출입벽에는 1.22m×2.44m 크기의 문이 5개 부착되어 있으며, 측벽 목재기둥(stud frame)면적은 전체의 약 12%에 해당한다. 전등은 50W/18.6m²으로 설치되어 있다(여기에 제시된 각종 설계기준 값은 문헌 13, 14를 참고하였음).

2. 설계조건

〈적용계사〉에서 설계온도결정을 위하여 계사가 위치한 진주지방의 기상자료를 분석한 결과, 1월의 10년 평균 상대습도는 60%, 평균 외기온은 0℃ 내외였으며, 8월의 10년 평균 상대습도가 80%, 평균 외기온이 27℃내외였다. Fig. 5는 대표적으로 각각 1990년 1월과 8월의 시간별 외기온의 누적분포도를 나타낸 것이다. 설계온도는 적어도 10년의 기상자료를 분석한 평균값을 사용해야 하지만 본 연구에서는 기상자료를 어떻게 처리하여 설계온도를 변환시키느냐는 예를 제시하려는 것이므로 한 해 기상자료만 분석하였다. 전통적으로 겨울(12, 1, 2월)은 외기온의

분포시간이 전체시간의 5%, 여름(7, 8, 9월)은 2.5%를 넘지 않은 온도를 설계온도로 한다.¹⁰⁾ Fig. 5에 의하면, 진주지방의 겨울의 설계온도는 -10℃, 여름은 34℃이다.

이는 우리나라의 겨울은 상대적으로 따뜻하고 체열의 발생으로 인하여 겨울철 축사환경제어는 크게 문제가 되지 않으나, 여름은 고온 다습하여 축사내 열부하로 인한 집단 폐사가 자주 발생하고 있는 실정이다. 그러므로 최근에는 여름철 축사의 환경제어가 보다 심각한 문제로 대두되고 있다.

산란계의 경우 Hahn et al.¹⁶⁾에 의하면 실내 온도 10℃~20℃에서 상대습도 40%~80%의 범위에서는 적정 생산성을 유지할 수 있으며, 습도가 적절할 때 최적온도는 13℃ 근처라고 보고하였다. 그러나 실내온도가 높고 (29℃ 이상), 동시에 습도가 높을 때는 생산성이 급격히 떨어지므로 상대습도를 60%이하로 유지하도록 권장하여 왔다.^{7,8)} 이 연구에서는 夏期와 冬期の 두 기상조건에 대한 환기그래프를 만들어 비교, 분석을 시도하였다. 夏氣象下에서 산란계가 신체조건을 유지하면서, 생산성도 크게 떨어지지 않는 27℃와 80%를 실내 설정온도와 습도로, 冬氣象下에서는 축사내 실내온도를 5℃ 정도 유지해도 크게 생산성이 떨어지지 않는다고 보고되어 있으나, 실내에서 작업하는 작업인을 위한

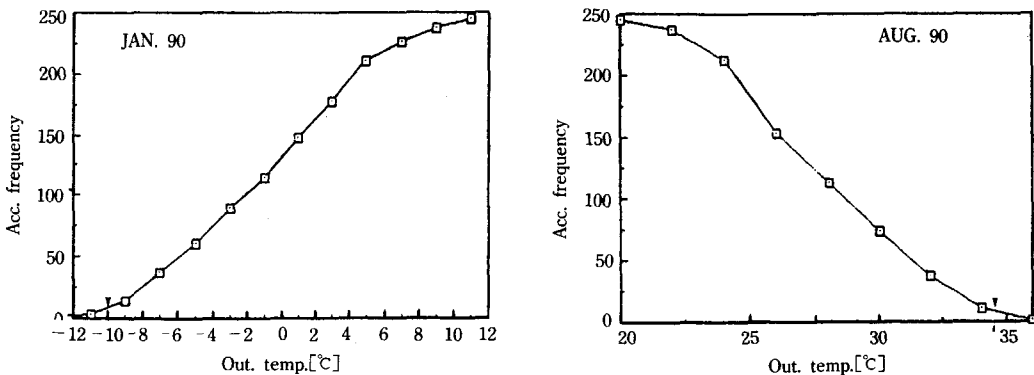


Fig. 5. Accumulative frequency curves for outside air temperature

열환경을 고려하여 실내 설정온도와 습도를 10℃와 70%로 하였다.

축종별 현열 발생을 定量化하기 위해서 ASAE의 실험자료⁹⁾를 다항식화하여 Pascal언어로 된 프로그램인 「POLYNOM」을 실행하여 多項式 係數를 결정하였다. 응결을 막고 단열을 위한 계사의 合成벽체와 천정의 全열전도계수를 구하기 위해서 「RVALUE」 프로그램을 실행하여 구한 전열전도계수의 값은 Table-1과 같다. 환기율을 결정하기 위한 「VENTGRPH」 프로그램의 입력자료로서 <적용계사>의 전열전도값(UA), 外周長 열전달계수(F), 산란계 자료, 설정 및 기상조건 등은 Table-2와 같다.

Table-1. Resistance values for composite walls and ceiling

Type	Area [m ²]	R-value [m ² C/W]	UA-value [W/C]
Door	14.9	0.55	27.1
Window	0.	0.	0.
Ceiling	825.8	1.96	421.8
Wall	459.1	1.75	270.9
Total	1300.0	1.83	711.6

Table-2. Design data for ventilation graph

Data required for ventilation curve		Values for warm weather	Values for cold weather
Building data	UA value[W/C]	711.6	
	Perimeter[m]	158	
	Perimeter factor[W/m ² C]	1.5	
Environmental setpoints	Inside temperature[°C]	27	-10
	Inside relative humidity[%]	80	70
	Inside CO ₂ Conc. [ppm]	3,000	
Outside condition	Outside relative humidity[%]	80	60
	Air pressure[KPa]	95.461	
	Outside CO ₂ conc. [ppm]	340	
Birds data	Type of Bird	Laying hens	
	Number of Birds[unit]	10,000	
	Average wt. of birds [kg]	1.8	

IV. 결과 및 고찰

1. 최소환기율

冬氣象下의 계사환기를 위한 기본 설계기준은 실내온도를 설정온도 이상 유지해야 한다는 점이다. 환기그래프 Fig. 6은 冬氣象下에서 난방열이 없다고 가정하고, 컴퓨터 프로그램 「VENTGRPH」에 Table-2의 冬氣象자료를 입력하여 구한 결과이다. -14.7℃에서 계사내 열평형을 이루며, 이 때의 평형환기율은 2.32m³/s이다. 이를 팬단계(fan stages)개념을 적용하여 최소환기율이라 한다.

기본적으로 외기온이 -14.7℃보다 낮을 때는 습도제어, 이보다 높을 때는 온도제어를 위하여 환기를 한다. Fig. 6은 수분이나 온도제어를 위한 환기율을 공급하면 자동적으로 이산화탄소를 제어(a' b'선)할 수 있음을 보여준다. 외기온이 -14.7℃ 이하일 때 최소환기율을 유지하면, 실내 설정온도를 유지하게 할 수 없기 때문에 보조난방열원(Q_h)이 필요하다. 그러나 진주지방 겨울철 설계온도가 -10℃로 -14.7℃에 미치지 못하기 때문에 거의 대부분 시간 보조열원이 필요없다. Fig. 6에서의 외기온에 따른 理想的인 환기율 결정은 그래프의 선 abc를 따

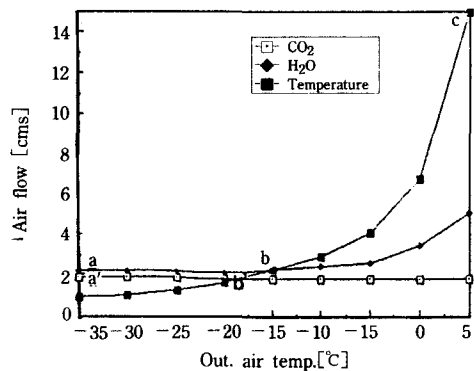


Fig. 6. Typical form of ventilation graph for temperature, moisture, and carbon-dioxide control in poultry houses under cold weather

라가면 된다.

2. 최대환기율

夏氣象下의 환기그래프인, Fig. 7인 냉각열이 없다고 가정하고, 컴퓨터 프로그램 「VENTG-RPH」에 Table-2의 夏氣象 자료를 입력하여 구한 결과이다. 夏期 계사환기의 기본적인 어려움은 실내온도를 설정온도 이하로 유지해야 한다는 점이다. -7.0°C 에서 계사내 여러 변수에 의한 열손실은 주로 산란계의 현열발생과 열균형을 이룬다. 이때의 평형환기율은 $1.21\text{m}^3/\text{s}$ 이며, 이를 최소환기율이라 할 수 있다. 그러나 夏期 환기그래프는 Fig. 6의 冬期 환기그래프와 달리 습도와 온도제어를 위한 환기율이 이산화탄소 제어를 위해서는 충분하지 못하다. 그러므로 최소환기율은 이산화탄소 濃度線(a' b' line)과 溫度線(bb'c line)이 만나는 b'점으로 해야 한다. 이 때의 외기온은 3°C 이며, 환기율은 $1.83\text{m}^3/\text{s}$ 로써 온도 및 습도에 의한 최소환기율보다 약 50% 크다. 이는 습도의 자동제어를 의미하며, 기본적으로 외기온이 3°C 보다 낮을 때는 이산화탄소제어, 이보다 높을 때는 온도제어를 위하여 환기를 해야 한다.

일반적으로 夏氣象下에서는 최대환기량을 팬 단계의 개념과 현장경험(the rule of thumb)을 적용하여 최소환기율의 10배 정도로 $18.3\text{m}^3/\text{s}$ 로 정한다.⁵⁾ 이런 경우 외기온이 24°C 이면 환기만으로 설정온도 27°C 를 유지할 수 있다. 만약 외기온이 24°C 보다 높으면, 설정온도를 유지할 수 없으므로 냉각열이 필요하다. 만약 Fig. 5(b)의 누적 빈도표에서 얻은 신뢰도 97.5%의 설계 외기온이 34°C 이면 이는 약 170kW, 설정온도를 29°C 로 한다면 150kW의 열부하가 걸려 열부하에 의한 집단폐사가 우려되므로 냉각열이 필요하다. 이에 관한 것은 3. 변형환기율에서 자세히 언급하기로 한다. 유의해야 할 점은 벽면, 천정, 外周로 통한 열손실은 산란계에 의한 열발생량의 겨우 5%에 지나지 않고 환기에 의한

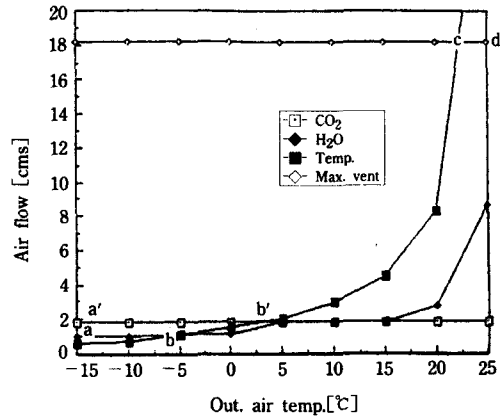


Fig. 7. Typical form of ventilation graph for temperature, moisture and carbon dioxide control in poultry houses under warm weather

열손실이 거의 95%에 이른다라는 점이다. 그러므로 실내외 온도차가 적을수록 환기가 중요함을 알 수 있다. Fig. 7에서는 Fig. 6과 달리 외기온에 따른 이상적인 환기율 그래프는 선 a' b' cd가 된다.

3. 변형환기율

최대환기율과 관련하여 우리 나라 夏氣象을 고려하면, 여름의 경우 외기온이 24°C 보다 높으므로 환기만으로 설정온도를 유지하는 것은 거의 불가능하다. 만약 외기온이 26°C 로 설정온도와의 온도차가 1°C 일 때 환기율은 $36.8\text{m}^3/\text{s}$ 로 거의 2배의 환기율이 필요하다. 즉, 온도 1°C 차에 환기율을 2배나 증가시켜야 한다. 그러므로 이 정도의 온도차이에서나, 외기온이 설정온도보다 높을 때는 환기시스템에 의해 유입되는 환기열 획득(Q_{vi}), 식(6)의 외기온(t_o)을 어떤 형태의 냉각시스템을 사용하든 유입 환기공기의 온도를 변화시켜 실내의 설정온도를 유지해야 한다. 식(21)은 변형 유입온도를 전제로 한 환기율을 계산한 식이다.

$$\dot{V} = \frac{(\alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2) + Q_e - (UA + FP)(t_i - t_{oe})}{\rho C_p (t_i - t_o)} \dots (21)$$

여기서, t_{oe} 는 냉각기를 통해 변형된 유입공기 온도를 나타내며, 온도차가 $(t_i - t_o) \cong 0$ 이거나, $(t_i - t_o) < 0$ 인 경우 식(21)과 같이 높은 외기온을 냉각기를 통해 환기공기의 성질을 변형시켜 온도차, $(t_i - t_{oe})$ 를 크게하므로써 환기로 인한 열의 유입을 적게 한다. 외기온이 환기로만 실내 설정온도를 유지할 수 없을 때는 냉각열을 이용하여 실내온도를 유지할 수 있다.

V. 結 論

1. 기존의 환기그래프에서 고려하지 않은 오염물질들을 포함하여 새로운 개념의 환기 그래프를 개발함으로써 지역별, 축종별로 환기율에 영향을 미칠 수 있는 특수성을 반영할 수 있어 실제 환기의 효율성을 높일 수 있다.

2. 축사의 합성 벽체와 천정, 문, 창문 등의 단열정도를 추정할 수 있는 「RVALUE」 프로그램을 개발함으로써 다른 어떤 구조물의 합성건축재료도 이 프로그램을 적용시켜 단열정도를 알 수 있다.

3. 축사내 가축(가금 포함)이 주위온도에 반응하여 발생하는 全熱, 顯熱과 潛熱을 예측할 수 있는 2차 다항식을 결정할 수 있는 「POLYNOM」을 개발하여 畜種과 다항식 次數만 입력하면 주위 온도에 따른 全熱, 현열, 잠열 등을 구할 수 있다.

4. 외기온 수준 → 환기율 → 실내온도 → 환기율 → 외기온, 실외질량(수분 및 오염물질 농도) 수준 → 환기율 → 실내질량수준 → 환기율 → 실외질량수준으로 연결되는 축사내 열에너지와 질량균형 개념에 바탕을 둔 환기율 결정을 위한 컴퓨터 프로그램 「VENTGRPH」를 개발하여 어떠한 축사든 외기온에 따른 실내온도, 수분, 오염물질의 제어를 위한 새로운 개념의 환기그래프를 개발함으로써 최소 환기율, 최대 환기율, 보조열량(가열 및 냉각)을 결정할 수 있다.

기호설명

- A : 피복면적[m²]
 - C : 공기중 이산화탄소의 농도[kg of CO₂/kg of dry air]
 - C_p : 공기의 비열[J/kg°C]
 - F : 外周 열전달계수[W/m²°C]
 - \dot{M}_s : 가축의 호흡으로 인한 수분발생율[mg/s]
 - \dot{M}_l : 축사바닥면 증발로 인한 수분입력율[mg/s]
 - \dot{M}_{vi} : 유입공기중의 수분함유율[mg/s]
 - \dot{M}_{vo} : 배출공기중의 수분함유율[mg/s]
 - \dot{C}_{vi} : 유입공기중의 이산화탄소 질량율[ppm/s]
 - \dot{C}_{vo} : 배출공기중의 이산화탄소 질량율[ppm/s]
 - P : 축사 外周[m]
 - Q_s : 가축에 의한 顯熱획득[kW]
 - Q_e : 장치열획득(전등, 모터 등의 기계적 장치에 의한) [kW]
 - Q_{so} : 태양열획득(창문 등을 통한)[kW]
 - Q_h : 가열기에 의한 보조열획득[kW]
 - Q_c : 냉각기에 의한 열손실[kW]
 - Q_{vi} : 유입공기에 의한 환기열획득[kW]
 - Q_{vo} : 배출공기에 의한 환기열손실[kW]
 - Q_w : 전도열손실/획득(벽, 지붕 등을 통한) [kW]
 - Q_f : 마루를 통한 열손실/획득[kW]
 - Q_l : 바닥면 물의 증발로 인한 잠열손실[kW]
 - t_i : 실내온도[°C]
 - t_o : 외기온[°C]
 - \dot{V} : 공기유동율[m³/sec]
 - \dot{V}_s : 식(19)에서 가축의 호흡으로 인한 이산화탄소 발생율[m³/s]
 - U : 全열전달계수[W/m²hr°C]
 - W : 공기의 습도비[kg of H₂O/kg of dry air]
- <그리스 문자>
- α : 상수[W]
 - β : 상수[W/°C]
 - γ : 상수[W/°C²]
 - ρ : 공기밀도[kg/m³]

<첨자>

i : 실내조건

o : 실외조건

參 考 文 獻

1. 농림수산부, 1989. 축사표준설계도.(건설부 공고 제57호). pp. 축사-89-10,000-가-01~16.
2. 오인환, 박명수. 1991. 축사의 환경설계. 농업기계학회지 16(2) : 188-199.
3. 崔弘林. 1989. 농업시설물의 환기 : pp. 205~225. 대광출판사.
4. 崔弘林, 徐元明. 1988. 농업생산시설물의 환경변수 결정. 농업연구소보 22(2) : 221~224. 농업자원이용연구소, 慶尙大學校.
5. Albright L. D. 1984. Building Environmental Control, AE682 Lecture Notebook, Cornell University, Ithaca, NY.
6. Albright L. D. and N. R. Scott. 1974. An analysis of steady periodic building temperature variations in warm weather-Part II. Trans. ASAE(19) : 93-98.
7. ASAE. 1974. Livestock Environment. Proceeding of International Livestock Environmental Symposium. University of Nebraska April 17~19, 1974. ASAE Speical Publication SP-0174 : pp. 176~211. St. Joseph, MI.
8. ASAE. 1982. Livestock Environment II. Proceeding of International Livestock Environmental Symposium. Iowa State University, April 20~23, 1982. ASAE. Publication 3-82 : pp. 348~419. St. Joseph, MI.
9. ASAE. 1983. ASAE Data D270. 4, Design of Ventilation Systems for Poultry and Livestock Shelters in ASAE Yearbook : pp. 360~366. ASAE. St. Joseph, MI.
10. ASHRAE. 1985. Handbook of Fundamentals : pp. 10.1~10.16. Am. Soc. Heating, Refriger., and Air-Cond. Engr. Altanta, GA.
11. Barber E. M. 1981. Scale-model study of incomplete mixing in a ventilated air space : pp. 3~5. Unpublished Ph. D. Thesis, University of Guelph.
12. Clark P. C. and J. B. McQuitty. 1989. Heat and moisture loads in farrowing rooms. Canadian Agricultural Engineering 31 : 55~59. CSAE.
13. Esmay M. L. 1978. Principles of Animal Environment : pp. 167~196. AVI Publishing Company, INC. Westport, CT.
14. Hellickson M. A. and J. N. Walker(editors). 1983. Ventilation of Agricultural Structures : pp. 195~214. ASAE Monograph No. 6. St. Joseph, MI.
15. Holman J. P. 1981. Heat Transfer : pp. 2~23. McGraw-Hill Book Company, NY., NY.
16. MWPS. 1983. Structures and Environment Handbook(11th ed.) : pp.515.1~515.3. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames IA.
17. O'connor J. M., J. B. McQuitty and P. C. Clark. 1989. Heat and moisture loads in three commercial broiler breeder barns. Canadian Agricultural Engineering 30 : 267~271. CSAE.

(接受日字 : 1991. 8. 22)