

畜舍의 環境設計

An Environmental Design of livestock Building

오인환*, 박명수**

I.H. Oh, M.S. Pak

1. 머리말

축산업이 농업에서 차지하는 비율은 1989 회계년도에 약 20%였으며, 이 비중은 동물성 단백질을 선호하는 국민 식생활의 변천에 비추어 볼 때 더욱 증가할 전망이다. 아울러, 농축산물의 수입개방으로 인하여 양축농가의 국제경쟁력을 향상시켜야 한다는 문제가 제기되고 있으며, 이에 생산기술의 개발이 시급한 실정이다.

가축사육에 있어서 생산능력에 지대한 영향을 주는 것은 畜舍環境이다. 오늘날의 밀집사육에서는 축사내의 습도, CO₂ 함량 등이 높게 나타나며, 그 결과로는 가축의 건강과 생산능력 뿐만 아니라 건축자재에도 유해한 영향을 줄 수 있다. 축사내의 온도가 飼育最適溫度에서 벗어날수록 젖소에서는 착유량이 감소한다던가, 비육돈의 경우에는 일당 증체량이 떨어진다는 연구결과들이 보고되어 있다.(5, 8). 따라서 가축에게 쾌적한 사육환경을 마련하여 준다는 것이 절실히 요구된다.

본 논문에서는 保溫型 畜舍環境에 관하여 규정짓고 있는 독일산업표준(DIN 18910)을 소개하여 관련 산업체 및 생산자에게 활용의 기회를 제공하며, 또한 이것을 참고로 하여서 축사환기에 영향을 주는 요인들을 분석하였다. 이 목적을

수행하기 위하여 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 필요한 換氣率과 熱水支를 계산하였다. 축사에 부족한 열량을 열교환기를 이용하여서 보충할 수 있는 방안도 제시하였다.

2. 畜舍換氣의 목적

축사를 건축하는데 많은 비용이 소요되기 때문에 근년에는 두당 사육면적이 점점 감소하여 사육밀도는 증가하고 있는 추세이다. 그러나 가축들은 열, 수증기 그리고 이산화탄소등을 발산함으로써 축사공기를 汚穢시킨다. 그 양은 가축의 연령, 무게, 축사온도, 상대온도, 상대습도, 사육방법 등에 의하여 달라진다. 또한 이산화탄소 외에도 암모니아가스와 황화수소가 발생하는데, 이러한 가스들은 주로 배설물의 분해과정에서 생성된다. 가스발생은 축사구조와 糞除去 방법에 따라 다르며, 이 가스들은 축사밖으로 반출되어서 일정한 기준치를 초과하여서는 않된다.

따라서 적절한 환기를 해주어야 하며, 그 용량은 축사의 건축 또는 환풍기의 설치시에 고려되어야 한다. 환기를 통하여서, 겨울철에는 축사에서 발생하는 습기와 유해가스를 제거하고, 여름철에는 가축들이 발산하는 열을 반출하여서 축사내의 온도와 습도가 최적의 상태가 되

* 건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과

** Fachbereich Landmaschinentechnik, Fachhochschule Köln, Germany

도록 하여야 한다. 환기장치를 설치하기 위하여는 반출되어야 할 습기량과 열량을 알아야 하며, 유해 가스함량도 물론 계산에 고려되어야 한다.

축사환경에 관여하는 요인들로는 온도, 습도, 이산화탄소, 암모니아가스, 황화수소 함량과 공기의 유속, 그리고 밝기 등이다. 이 중에서도 가장 중요한 요인은 온도와 습도이다. 독일산업표준에는 여러종류의 가축에 대한 온도의 습도의 최적치들이 소개되어 있는데 다음표 1, 2, 3과 같다. 또한 유해가스에 대한 허용기준치도 다음과 같이 규정하고 있다.

- CO₂ : 3.5 l/m³,
- NH₃ : 0.05 l/m³,
- H₂S : 0.01 l/m³

겨울철에는 가축의 활동구역에서 공기의 유속을 0.2 m/s 이하로 하여서 외풍이 생기지 않도록

하며 患畜의 발생을 억제하여야 한다. 여름철에는 이보다 높은 유속이 필요하다. 표 4, 5, 6에는 가축들의 습기, 열 이산화탄소의 생산량을 나타내었다. 위의 표를 이용하여서 매 가축당 요구되는 공기량 즉, 換氣率(m³/h)을 계산할 수 있다. 최근의 논문에서는 젖소의 경우에 습기, 열발산량이 독일산업표준 기준치보다 약간 높게 나타난 보고도 있다.

환기량은 환풍기를 이용하여서 조절하는데, 환기방법은 배출식으로 陰壓換氣, 흡입식으로 陽壓換氣, 그리고 이 두가지를 조합한 等壓換氣로 구분된다. 음압환기 시스템은 일반적으로 소규모 축사에 적용되는데, 축사의 공기는 환풍기를 통하여서 밖으로 내보내진다. 따라서 축사내에는 음압이 생기게 되며 신선한 공기는 흡기관 또는 축사의 빈틈을 통하여서 유입된다. 빈틈이 많을 경우에는 환기가 효과적으로 되지 않으며, 또한 윗풍이 발생하기도 한다.

표 1. 우사에 있어서 온도와 상대습도의 최적범위

축 사	최 적 범 위		겨울철 계산을 위한 권장치	
	공 기 온 도	상 대 습 도	공 기 온 도	상 대 습 도
젖소, 번식송아지, 번식숫소 육성우	0 to 20	60 to 80	10	80
어린소비육, 비육숫소	20 to 12	60 to 80	16	80
비육 송아지	20 to 16	60 to 80	18	70

표 2. 돈사에 있어서 온도와 상대습도 최적범위

축 사	최 적 범 위		겨울철 계산을 위한 권장치	
	공 기 온 도	상 대 습 도	공 기 온 도	상 대 습 도
미경산돈, 경산돈, 임신돈, 웅돈	5 to 15	60 to 80	12	80
비육돈	18 to 15	18 to 15	16	80
포유모돈	12 to 16	60 to 80	18	70
포유자돈				
분만시	30 to 32	40 to 60		
6주령부터의 자돈	20 to 22	60 to 70		
이유자돈과 비육전기 30kg까지	22 to 80	60 to 80	20	60
케이지사육 5kg(3주)에서 20kg(8주)까지	26 to 22	40 to 60	26	60

표 3. 가금사에 있어서 온도와 상대습도의 최적 범위

축 사	최 적 범 위		겨울철 계산을 위한 권장치	
	공 기 온 도	상 대 습 도	공 기 온 도	상 대 습 도
구역난방의 병아리 온도는 (주에 3도씩 감소됨)	32 to 18*)	60 to 70	26	60
육성계, 산란계	15 to 20	60 to 80	18	70
구역난방의 새끼칠면조, 온도는 1주에 3도씩 감소됨	36 to 18*)	60 to 70	22	60
7주령부터의 비육칠면조	18 to 10*)	60 to 80	16	80
오리	30 to 10*)	60 to 80	20	60

표 4. 소의 수증기, 열, CO₂ 발산량

가축의 무게 kg	수증기 발산 / 마리 g h	열발산 / 마리 kcal g (W)	이산화탄소 발산 / 마리 Liter h
젖소, 번식송아지, 번식숫소, 육성우, 분만우 $t_i=10^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=80\%$			
60	77	155 (180)	28
100	106	225 (261)	41
150	140	310 (360)	56
200	172	390 (452)	70
300	230	535 (621)	95
400	280	660 (766)	116
500	322	765 (887)	133
600	356	850 (986)	146
700	378	905 (1050)	153
800	400	960 (1114)	160
어린소비육, 비육숫소 $t_i=16^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=80\%$			
150	157	310 (360)	56
200	193	390 (452)	70
300	258	535 (621)	95
400	314	660 (766)	133
500	361	765 (387)	133
600	399	850 (986)	146
비육 송아지 $t_i=18^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=70\%$			
60	115	155 (180)	28
100	159	225 (261)	41
150	210	310 (360)	56
220	258	390 (452)	70

표 5. 돼지의 수증기, 열 CO₂ 발산량

가축의 무게 kg	수증기 발산 / 마리 g/h	열발산 / 마리 kcal/g (W)	이산화탄소 발산 / 마리 Liter/h
미경산돈, 경산돈, 임신돈, 웅돈 $t_i=12^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=80\%$			
30	39	75 (87)	13
40	44	90 (104)	16
60	54	120 (139)	22
70	60	133 (154)	24
90	70	157 (182)	30
100	75	170 (197)	33
150	102	232 (269)	47
200	129	294 (341)	62
250	155	357 (357)	414
330	182	420 (487)	90
포유모돈과 자돈 $t_i=18^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=70\%$			
10	31	40 (46)	7
100	85	170 (197)	33
150	115	232 (269)	47
200	145	294 (341)	62
250	175	357 (414)	90
300	206	420 (487)	90
비육돈 $t_i=16^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=80\%$			
20	36	59 (68)	10
30	42	75 (87)	13
40	48	90 (101)	16
50	53	105 (122)	19
60	59	120 (139)	22
70	65	133 (154)	24
80	71	145 (168)	27
90	77	157 (182)	30
100	83	170 (197)	33
110	89	183 (212)	36
120	95	195 (226)	39
130	101	207 (230)	42
140	107	220 (255)	44
150	113	232 (269)	47
이유자돈, 비육전기 $t_i=20^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=60\%$			
10	32	40 (46)	7
20	38	59 (68)	10
30	45	75 (87)	13
40	52	90 (104)	16
50	58	105 (122)	19
60	65	120 (139)	22
케이저 사육되는 자돈 $t_i=26^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=60\%$			
5	32	31 (36)	5
10	36	40 (46)	7
20	43	59 (68)	10

표 6. 가금의 수증기, 열, CO₂ 발산량

가축의 무게 kg	수증기 발산 / 마리 g/h	열발산 / 마리 kcal/g (W)	이산화탄소 발산 / 마리 Liter/h
병아리 $t_i=26^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=60\%$			
0.055	0.6	0.6 (0.7)	0.1
0.065	1.2	1.7 (2.0)	0.3
0.310	1.9	2.8 (3.2)	0.5
0.520	2.8	4.1 (4.8)	0.7
육성계, 산란계 $t_i=18^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=70\%$			
0.052	2.4	4.1 (4.8)	0.7
0.700	2.9	5.1 (5.9)	0.9
0.130	4.0	7.0 (8.1)	1.1
1.630	4.9	8.9 (10.3)	1.3
2.200	5.5	10.2 (11.8)	1.5
새끼 칠면조 $t_i=22^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=60\%$			
0.055	0.5	0.6 (0.7)	0.1
0.165	1.1	1.7 (2.0)	0.3
0.310	1.7	2.8 (3.2)	0.5
0.520	2.6	4.1 (4.8)	0.7
비육칠면조 $t_i=16^{\circ}\text{C}$, $\phi_i=80\%$			
0.165	1.0	1.7 (2.0)	0.3
0.310	1.5	2.8 (3.2)	0.5
0.520	2.2	4.1 (4.8)	0.7
0.077	2.8	5.1 (5.9)	0.9
0.130	3.8	7.0 (8.1)	1.1
0.630	4.7	8.9 (10.3)	1.3
2.200	5.3	10.2 (11.8)	1.5

양압환기 시스템에서는 환풍기로 주위의 신선한 공기를 흡입하여 축사내에 공급하게 된다. 따라서 축사내에는 양압이 생기게 된다. 이 입력에 의하여 배기는 배기관을 통하여 밖으로 내보내진다. 흡기관은 가급적 바람을 받는 벽쪽에 설치하고, 배기관은 지붕위 또는 바람을 받지 않는 벽쪽에 설치하는 것이 유리하다. 신선한 공기는 배관을 통하여서 전 축사에 공급된다. 이 환기시스템은 규모가 보다 큰 축사에 사용된다. 대규모 축사에도 등압환기 시스템이 적용된다. 신선한 공기의 입구와 배기의 출구에 환풍기를 설치하기 때문에 성능이 좋고 환기조절을 정확하게 할 수 있다.

3. 換氣率의 계산

축사환기시설의 설계에 있어서는 우선 요구되는 공기량을 알아야 한다. 이것에 근거를 두어서 환풍기의 최대풍량이 결정된다. 여름철에는 환기율이 가축의 熱發散量에 근거하여 계산되는데 일반적으로 가축당 환기율이 크며, 이것에 가축수를 곱하여서, 총환기량을 얻게 되고 환풍기 용량의 크기를 결정할 수 있다.

그 반면에 겨울철에는 熱平衡을 고려하여야 하고, 겨울철의 최소 환기율을 습기와 이산화탄소 발생량을 기준으로 하여 계산하며, 그중에서 큰 수치를 택하게 된다. 이 최소 환기율에 해당

되는 공기를 주입하면 가축들이 생산하는 습기와 모든 유해가스들이 반출된다. 겨울철 축사환기의 중요한 목적은 가축들이 발산하는 습기를 반출하는 것이다. 이에 대한 환기율은 아래의 식에 의하여 계산할 수 있다.

$$m_{L1} = \frac{X_{T1}}{x_1 - x_a} \quad (1)$$

- m_{L1} : 환기율, m^3/h
- X_{T1} : 습기발생량, g/h
- x_1 : 축사공기의 수증기량, $g H_2O/m^3$
- x_a : 외기의 수증기량, $g H_2O/m^3$

한 예로서 축사내의 온도를 $10^{\circ}C$, 상대습도 80%, 외기의 온도는 $-10^{\circ}C$ 상대습도 100%라고 가정하여서 체중 60kg의 젖소에 요구되는 환기율을 계산해 보도록 하자. 표 4에서 습기발생량 $X_{T1} = 356 g/h$ 과 이산화탄소 발생량 $K_{T1} = 146 l/h$ 을 얻을 수 있다 공기중의 수증기량은 습공기선도로 부터 축사공기 $x_1 = 7.17g$ 과 외기 $x_a = 2.05g$ 을 읽을 수 있으며, 이 수치들을 식(1)에 대입하여서 환기율 $m_{L1} = 69.5 m^3/h$ 을 얻게 된다.

다음에는 이산화탄소 발생량에 의한 환기율을 계산해 보도록 하겠다. 축사에는 이산화탄소가 가축들의 호흡을 통해서 그리고 배설물의 분해에 의하여 발생하는데 이것도 역시 반출되어야 한다. 독일산업표준에 의하면 축사내의 이산화탄소 농도가 $3.5 l/m^3$ 를 초과하지 않도록 되어 있다. 대기중의 공기에는 약 0.3%의 CO_2 가 함유되어 있으므로 이 수치들을 기준으로 하여서 환기율을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$m_{L2} = \frac{K_{T1}}{K_i - K_a} \quad (2)$$

- m_{L2} : 환기율, m^3/h
- K_{T1} : 이산화탄소 발생량, l/h
- K_i : 허용되는 이산화탄소 농도, l/m^3
- K_a : 대기중의 이산화탄소 함량, l/m^3

앞서 든 예를 가지고 이산화탄소에 기준을 두어서 환기율을 계산하면 $m_{L2} = 45.6 m^3/h$ 을 얻게

된다. 이상에서 계산된 수치중에서 큰 것을 택하여, 겨울철에 필요한 환기율로 이용한다. 경험에 의하면 습기발생량에 의하여 계산되는 환기율이 이산화탄소 발생량에 의한 환기율보다 크기 때문에 일반적으로 습기발생량에 의한 환기율만 계산하면 된다.

여름철의 환기율은 주로 가축들의 發熱量에 의하여 계산된다. 발생된 환풍기를 통하여 축사 밖으로 반출되어서, 축사내의 온도를 적당히 조절하여야 한다. 이때 축사내의 온도가 외기보다 $2\sim 3^{\circ}C$ 높은 범위 안에서 환기량을 결정한다. 여름철의 환기율을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$m_{L3} = \frac{Q_{T1}}{a \cdot \Delta t} \quad (3)$$

- m_{L3} : 환기율, m^3/h
- Q_{T1} : 가축의 열발산량, W
- Δt : 축사안과 밖의 설정 온도차, K
- a : 근사치 $= 0.9 Wh/m^3 \cdot K$

앞서 든 예로 여름철의 환기율을 계산하면 체중 600kg인 젖소의 發熱量은 표 2에서 $Q_{T1} = 986W$ 이며 Δt 를 2k로 할 경우에 환기율 $m_{L3} = 547.9m^3/h$ 이 된다.

4. 熱收支

환기가 행하여질 때 겨울철에 외기의 찬 공기는 축사내의 요구되는 온도로 가열되어야 한다. 이 환기에 따른 필요열량은 환기율에다 축사내 공기와 外氣의 엔탈피 차이를 곱함으로써의 얻을 수 있다.

$$Q_L = m_{L1} (h_i - h_a) \quad (4)$$

- Q_L : 환기에 따른 열손실, W
- m_{L1} : 환기율, m^3/h
- h_i : 축사내 공기의 엔탈피, Wh/m^3
- h_a : 외기의 엔탈피, Wh/m^3

앞서 예를 든 젖소의 경우에 환기에 따른 필요 열량 $Q_L = 736.7 W$ 가 된다.

환기에 의한 열손실 외에도 축사의 벽이나 지붕을 통하여 발생하는 열손실도 고려되어야 하며, 이것은 다음식으로 계산할 수 있다.

$$Q_B = k_m A \cdot \Delta t \quad (5)$$

Q_B : 건축자재를 통한 열손실, W

k_m : 평균 열전달계수, W/m² K

A : 축사의 겉면적, m²

Δt : 축사안과 밖의 온도차, K

열전달계수는 벽이나 천정에 단열을 증가시켜서 수치를 낮게 할 수 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 겨울철에는 환기와 건축자재를 통한 열손실이 발생하는데, 축사에 적당한 온도를 유지시키기 위하여는 손실되는 열량을 보충하여서 열적으로 평형이 되도록 하여야 한다.

熱平均은 가축들이 발산하는 열량이 열손실량과 같거나 그것보다 크면 성립이 되는 것이다. 열평균형식은 다음과 같다.

$$\Delta Q : n \cdot Q_{T1} - n \cdot Q_L - Q_B \quad (6)$$

ΔQ : 열평형, W

n : 가축두수

식 (4)와 (5)를 식 (6)에 대입하면 아래와 같이 된다.

$$\Delta Q = n \cdot Q_{T1} - n \cdot m_L (h_i - h_a) - k_m \cdot A \cdot \Delta t \quad (7)$$

熱的平衡의 계산은 여러가지 요인, 즉 사육두수, 평균 열전달계수, 외기온도 등에 의하여 영향을 받는다. 이 요인들의 영향을 열수지에 관한 FORTRAN-프로그램을 개발하여 계산하였다고

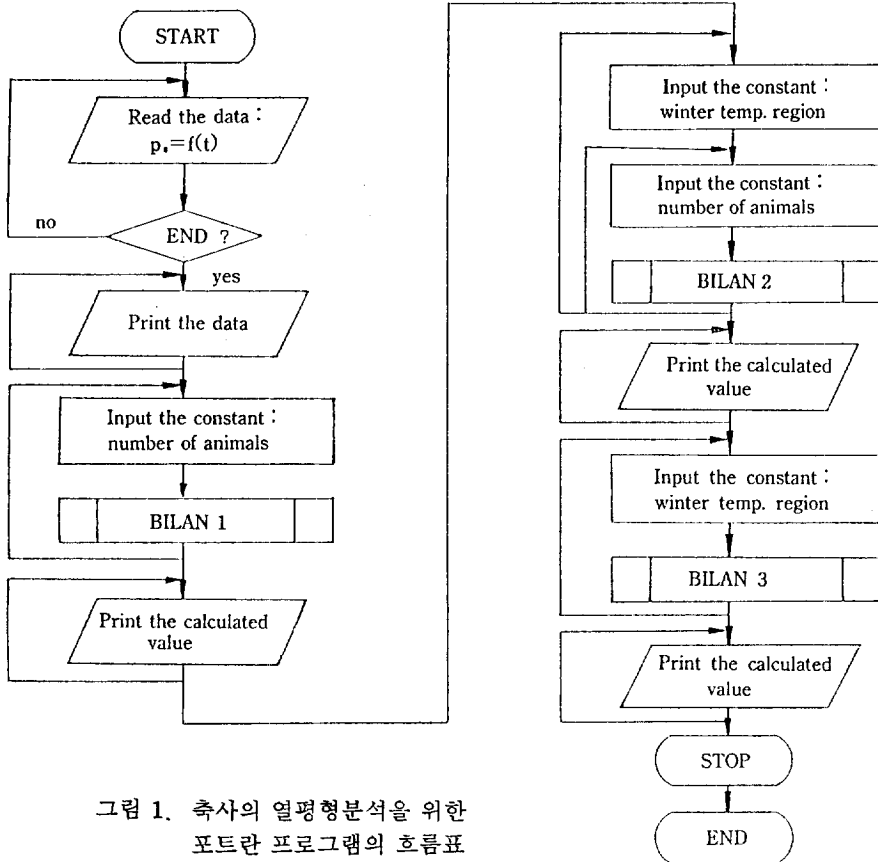


그림 1. 축사의 열평형분석을 위한 포트란 프로그램의 흐름표

(그림 1), 시험에는 낙농우사, 비육우사, 비육돈사를 택하였으며, 계산에 있어서 젖소는 체중이 600kg, 비육우는 200kg 그리고 비육돈에 있어서는 60kg이라고 지정하였다.

4. 열교환기

열교환기는 아직 우리나라의 축산농기구에는 보급이 되어있지 않지만 축산선진국에서는 많이 보급되어 있는 관계로 여기서 살펴보도록 하며, 시험에서는 비육우사와 비육돈사의 부족되는 열량을 열교환기를 사용함으로써 보충한다고 가장 하였다.

축사의 熱平衡이 이루어지지않을 경우에는 排氣속의 열을 이용하여 열을 재생함으로써 熱的平衡을 이룰 수 있다. 이러한 경우에 사용되는 것으로는 열펌프 또는 열교환기 등이 있다. 만약 排氣熱을 온수 생산이나 가정 난방에 이용하려면 온도가 높아야 하기 때문에 열펌프를 사용하여야 한다. 현재 에너지 가격이 싸고 열펌프 가격이 비싸기 때문에 열펌프의 도입은 비경제적일 수 있다.[11]. 그 반면에 열교환기의 가격은 낮기 때문에 排氣熱 재생산을 경제적으로 실시할 수 있다. [7]. 열교환기의 효율을 일률적으로 정의하기는 어렵지만, 계산에는 온도, 수분함량, 엔탈피 등의 변화가 고려되어야 한다.

배기와 외기 사이에 온도차가 적을 경우에도 높은 열전달 효과를 얻기 위하여는 이 두공기의 흐름이 중요하다. 열교환기는 배기와 흡기의 유동방향에 의하여 몇가지 종류로 구분된다. 그중에서도 溫氣와 寒氣가 고정된 벽으로 분리되는 열교환기가 많이 보급되어 있다. 그 내부 구조는 밀관 또는 박편 등으로 되어 있다. 관 열교환기가 축사의 배기열 재생산을 위해 적합하며 가장 많이 사용되고 있다. 신선한 공기는 배관내를 통과하고, 배기는 관주위를 유동한다.

열교환기에서는 문제가 되는 것은 배기속에 함유되어 있는 먼지와 유해가스이다. 먼지가 열교환기의 분리벽에 쌓이면 열교환율이 저하되고 유해가스에 의하여 열교환기가 무시될 수도 있기 때문이다. 이러한 이유로 배기열 재생산을 위

한 열교환기와 그 재료에는 다음과 같은 성질들이 요구된다. 즉, 축사배기의 부식을 유발하는 성분(증기, 염모니아가스, 황화수소, 이산화탄소)에 대한 耐腐蝕性, 수증기, 가스, 악취를 동반하지 않는 높은 열전달율, 부재의 낮은 유체역학적인 저항, 그리고, 응결수로 쌓인 먼지를 제거하는 自淨效果를 이용하도록 할 것 등이다.

일반적으로 열교환기에는 분사장치가 있어서 축사공기로부터 배관위에 쌓인 먼지를 소제한다. 다음 그림 2에서는 축사에 설치된 열교환기를 보여준다. 배기열을 재생산할 필요가 없을 경우에는 배기는 열교환기를 통하지 않고 직접 밖으로 나가게 된다. 그리하여 필요 이상으로 먼지와 유해한 가스가 함유된 배기로부터 열교환기에 부담을 주는 것을 방지할 수 있다.

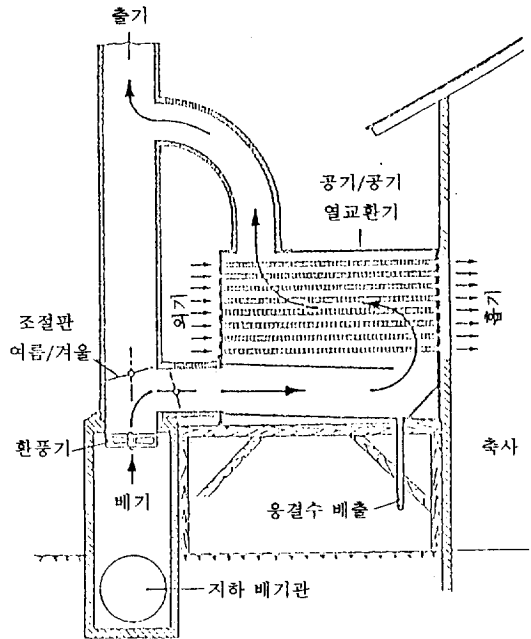


그림 2. 축사에 설치한 공기/공기 열교환기

열교환기의 재료로는 금속, 유리 또는 합성수지 등이 사용한다. 이러한 재료들은 특수한 장·단점을 가지고 있다. 금속재료는 熱固定姓이 양호하며, 견고하나 부식되는 단점이 있고, 특수강은 제작에 제한이 다르며 비싼 가격이 문제가 된다. 유리재료는 강도가 낮은 점이 불리하고,

합성수지 재료는 熱固定性이 낮은 점을 꼽을 수 있다. 합성수지재료로는 폴리에틸렌 관과 강화 유리섬유 폴리에스터 판 등이 많이 사용되고 있다.

6. 계산결과

6.1 사육두수

세부프로그램 "BILAN3"가 사육두수에 의한 열수지 계산에 관한 것이다. 각 축종마다 겨울철 외기의 온도를 -10°C , 축사의 평균 열전달계수는 $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 로 가정하였다. 그림에는 축사의 熱平衡의에도 비교를 하기 위하여 열교환기를 통한 열공급량 Q_{AN} 과 가축의 열발산량 Q_{Ti} , 환기에 따른 열손실량 Q_L 과 건축자재를 통한 열손량 Q_b 를 나타내었다.

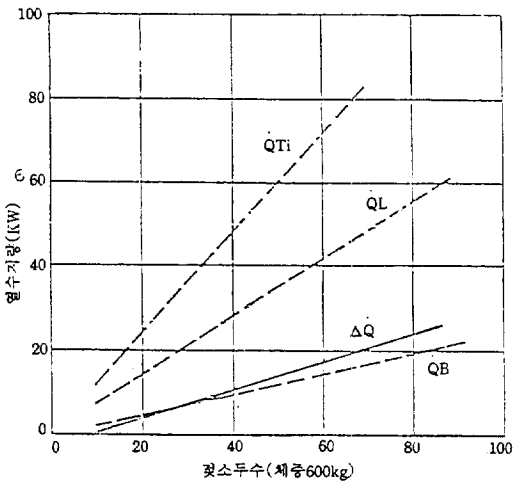


그림 3. 젓소두수와 열평형과의 관계
(외기온도 -10°C , Km 값 $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

그림3에는 젓소의 사육두수에 따른 열수지를 나타내었다. 젓소들의 열생산량이 많고, 飼育最適溫度가 낮기 때문에 10두 이상이면 소들이 생산하는 自體熱로서 모든 열손실이 보상되는 것을 알 수 있다. 그 반면에 비육우의 경우에는 음의 열수지를 나타내고 있다. (그림 4). 이 부족분은 열교환기를 설치함으로써 사육두수 40마리 부터는 熱平衡을 이룰 수 있다. 비육돈의 경우에

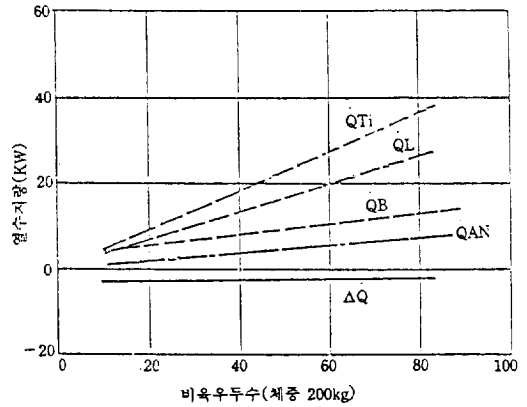


그림 4. 비육우 두수와 열평형과의 관계
(외기온도 -10°C , Km 값 $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

있어서도 열손실이 보상되지 못하고 있는데, 이는 돼지들의 열생산은 적고 요구되는 축사의 온도가 높기 때문이다.(그림 5). 만의 열교환기를 사용하여서 배기속의 열을 재이용한다면 열손실은 보상이 되며, 따로 보온장치가 필요없게 된다.

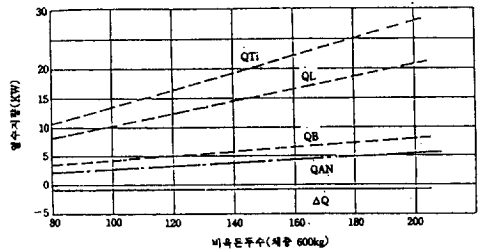


그림 5. 비육돈 두수와 열평형과의 관계
(외기온도 -10°C , Km 값 $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

6.2 평균 열전달계수

축사에 단열을 증가시키면 난방에 소요되는 에너지를 절약할 수 있다. 이런 관점에서 축사의 k_m 값이 熱收支에 주는 영향을 계산하였다. 열전달계수는 재료에 따라 각기 다르며, 실제에서는 각기 다른 수치로 되어 있으나, 여기서는 편의상 평균 열전달계수 $1\text{W}/\text{m}^2\text{k}$ 로 가정하였다.

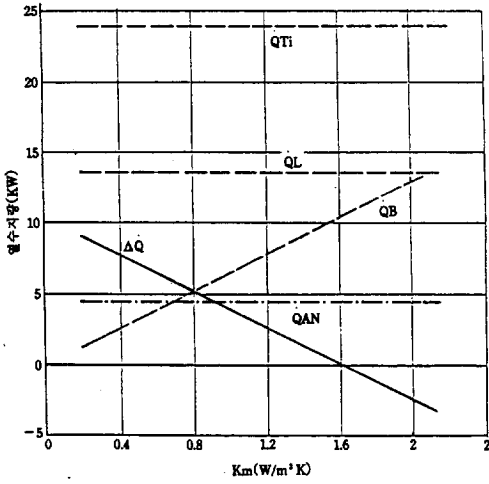


그림 6. 축사의 Km값이 열평형에 미치는 영향
(외기온도 -10°C , 젖소두수 $n=20$)

낙농우사에서는 축사환기가 熱平衡에 그다지 큰 문제가 되지 않는 것을 알 수 있다. 그림 6에는 사육두수 20마리의 경우를 나타내었다. 熱平衡 ΔQ 는 열전달계수가 증가함에 따라 직선적으로 감소하여, 계수가 1.6보다 커질 경우에는 熱收支가 음으로 된다. 재생열량 Q_{AN} 은 배기량과 온도에 관계되기 때문에 일정한데, 열전달계수가 약 2.5가 될 때까지는 손실열을 재생열로 보상할 수 있다.

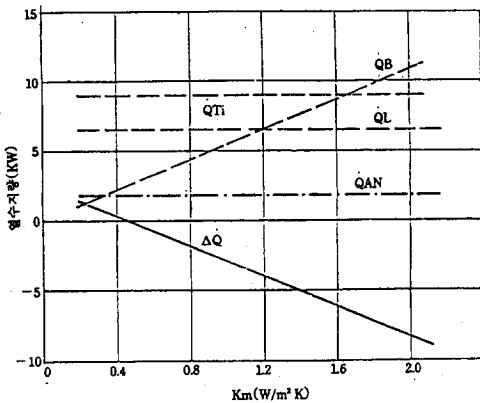


그림 7. 축사의 Km값이 열평형에 미치는 영향
(외기온도 -10°C , 비육우두수 $n=20$)

비육우 20마리에 대한 열수지는 그림 7에 나타내었다. km 값이 0.5이하 이어야 열평형이 이루어지는 것을 알 수 있으며, 참고로 유럽지역에서는 축사의 km 값이 0.8-1.2 사이에 있다. 사육두수가 80마리인 비육돈사의 경우에는 열전달계수 0.8까지는 熱的 平衡이 이루어지며 약 1.4까지는 재생열로서 열손실을 보상할 수 있다. (그림 8).

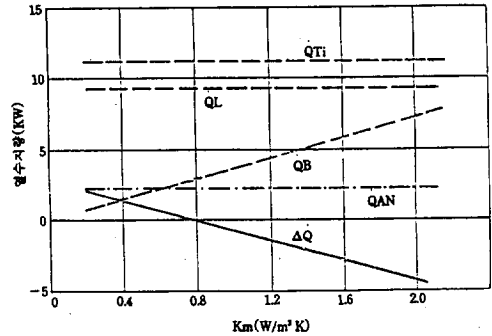


그림 8. 돈사의 Km값이 열평형에 미치는 영향
(외기온도 -10°C , 비육돈 두수 $n=80$)

경제성의 검토에서는 熱收支가 맞을 때의 연간 총비용을 최소로 하던가, 증가된 잠재 에너지의 효과와 추가적인 투자비용과 차이를 비교함으로써 알 수 있다. 이런 방법으로 최적의 km 값을 얻게 된다.

6. 3 外氣溫度

세부 프로그램 "BILAN 1"로서 外氣溫度가 열수지에 주는 영향을 검토하였다. 매개변수로는 축사의 km 값과 飼育頭數를 삼았다. 이 경우에도 축사의 km 값을 1로 가정하였고, 외기의 온도가 변할 때 비육우사와 비육돈사에서 축사의 熱平衡이 이루어지는지를 조사하였다. 또한 비교를 하기 위하여 熱平衡 ΔQ 와 열공급 Q_{AN} (배기의 냉각은 약 8°C)을 나타내었다.

그림 9에는 비육우에 있어서 사육두수 20~40마리까지의 熱平衡 ΔQ 와 열공급 Q_{AN} 을 나타내었다. 사육두수 20마리에서는 0°C 에서 열적 평형이 이루어지며, 열교환기를 사용할 경우에는 -6

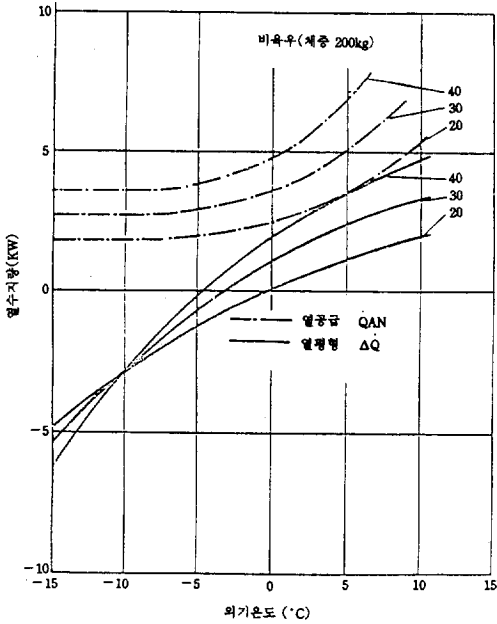


그림 9. 외기온도가 열평형과 열공급에 미치는 영향

℃ 부터 총열손실을 보충할 수 있다. 사육두수 40 마리에서는 -4℃ 에서 자체 발생열로 열평형이 이루어진다. 비육돈에 있어서 사육두수 120~160마리의 결과를 그림 10에 나타내었다. 열적 평형은 조사된 사육두수에서 -8℃까지는 자체 열로서 이루어지는 것을 알 수 있다.

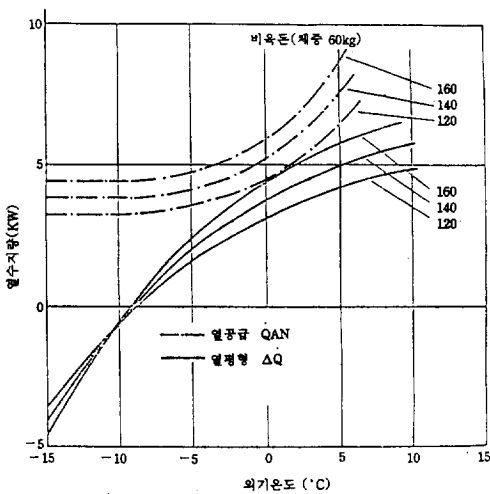


그림 10. 외기온도가 열평형과 열공급에 미치는 영향

이상의 컴퓨터 계산 결과에 의하면, 젓소들의 경우에 있어서 일반적인 사육두수일 때 낮은 온도에서도 열평형이 이루어진다. 그 이유는 젓소들의 熱發散量이 많고 축사내의 要求溫度는 낮기 때문이다. 비육돈의 경우에는 축사내의 要求 온도가 높고, 자체 熱發散量이 적기 때문에 낮은 외기 온도에서는 열평형이 이루어지질 않는다. 이러한 경우에 열교환기를 사용하여서 배기속의 열을 재이용한다면 열적 평형을 이룰 수 있다.

7. 맺음말

양축농가의 경쟁력을 강화하기 위하여는 생산 기술의 향상이 요구된다. 飼育環境은 가축의 생산성에 지대한 영향을 주며, 따라서 畜舍環境을 인위적으로 조절할 수 있는 축사로의 전환이 시급하다. 현재 우리나라의 축사시설은 자본절약형으로 외부 기후에 의하여 많은 영향을 받고 있다. 특히 양돈의 경우에 생산량은 계절에 따라 큰 폭으로 변하며 에너지의 손실도 막대하다. 축사의 열평형에 영향을 주는 요인들, 즉 사육두수와 축사의 평균 열전달계수 그리고 외기온도 등은 서로 밀접한 관계에 있으며, 그중에서도 열전달계수를 향상시키는 면에 있어서 개선의 여지가 크고 이 방면에 노력이 경주되어야 하겠다. 또한 열교환기의 도입은 에너지를 절약하는 데 도움이 될 것이다. 전업 규모의 축산농가에서는 위의 자료를 토대로 마이크로 컴퓨터를 이용한 畜舍換氣의 自動制御가 가능하겠다.

參 考 文 獻

1. AEL(1975). Berechnungs-und Planungsg-rundlagen für das Klima in Schweineställen. Heft 5/75
2. AEL (1976). Berechnungs-und Planungsg-rundlagen für das Klima in Rindviehställen. Heft 4/76

3. Bruce, J.M.(1982). Ventilation of a model livestock building by thermal buoyancy. Trans. of ASAE 25(6) 1724-1726
4. DIN 18910(1974). Klima in geschlossenen Ställen. Beuth Verlag GmbH. Berlin 30.
5. Esmay, M.L.(1978) Principles of animal environment. AVI Publishing company, INC.
6. Foster, M.P. & Down, M.J.(1987). Ventilation of Livestock Buildings by Natural Convection. J. agric. Engng Res. 37, 1-13
7. Kessel, H.W.(1980). Wärmepumpen und Wärmetauscher in der Landwirtschaft. RKL(0.4) 59-80
8. Mangold, D.W.et.al.(1967). Effects of air temperature on performance of growing-finishing swine. Trans of ASAE(10) 370
9. Müller H.-J.(1990). Energiesparende Heizungs-und Lüftungssysteme. Landtechnik (45) 300-302
10. Ogilvie, J.R., Barber, E.M. & Randall, J.M. (1990). Floor air speeds and inlet design in swine ventilation system. Trans. of ASAE 33(1), 255-259
11. Pak, M. & Schulz, S. (1979). Erreichbare Energieeinsparungen beim Einsatz einer Absorptionswärmepumpe zur Hausheizung. Die Kälte Kälte und Klimatechnik 9/79 440
12. Räther, H.(1986). Die Stalllüftung bedienen. DLG-,itteilung 5/86 256-260
13. Timmons, M.B. et. al.(1984). Nomographs for predicting ventilation by thermal buoyancy. Trans. of ASAE 27(6) 1981-1893, 1896
14. Vogt, S. (1984). Gesünderes Stallklima und weniger Heizkosten, DLG-Mitteilung 15/84 843-845