

월동용 양봉사의 환기팬 작동방식에 따른 온·습도 조절효과

이종원 · 이현우* · 이석건 · 김란숙¹ · 최광수²
경북대학교 농업토목공학과, ¹심양농업대학, ²경북대학교 동물공학과

Control Effect of Temperature and Humidity by Ventilation Fan Operation Methods in Wintering Honey Bee House

Lee, Jong Won, Hyun Woo Lee*, Suk Gun Lee, Lan Shu Jin¹, and Kwang Soo Choi²

Dept. of Agricultural Eng., Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

¹Shenyang Agricultural University, Shenyang, China

²Dept. of Animal Eng., Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract. This study was conducted to establish the ventilation fan operation schedule to be able to provide satisfactory environment for colonies in the wintering honey bee house. The simulation and practical measuring test were conducted to verify the applicability of an existing simulation program to the calculation of inside thermal environment condition of the house, and the environment control performance was compared between the two types of fan operation schedule to find the proper schedule. It was concluded that the program could be used to design the materials of the enclosure and the fan operation schedule and decide the number of accommodation hives. Inside temperature of bee house controlled by the fan operation schedule B was lower than the schedule A under the similar high outside temperature condition. In the presence of the high outside temperature condition, inside air temperature of bee house could be decreased by changing fan operation schedule A to schedule B. The humidity variation in bee house controlled by the fan operation of schedule B was smaller than that by schedule A. These results indicated that the schedule B was superior in the aspect of the environment control performance.

Key words : ventilation performance, simulation, experiment

*Corresponding author

서 언

꿀벌의 월동관리는 이듬해의 벌꿀 생산량과 양봉가의 소득에 절대적인 영향을 주기 때문에 양봉기술의 과학화 및 생력화에 있어서 큰 비중을 차지하고 있으며 국 내외를 막론하고 관심이 높아지고 있는 실정이다. 특히, 국내 양봉의 경우 5월중에 개화하는 아카시아 꽃에서 채밀이 대부분 이루어지기 때문에 월동 벌의 폐사율 및 봉세의 강약은 양봉가의 소득과 직결된다. 최근에는 수입 봉군수의 증가와 가격상승으로 인하여 월동기간 중 효율적인 봉군관리 기술의 개발이 한층 더 요구되고 있는 실정이다(Yu, 1995a).

봉군의 월동은 실외월동과 실내월동으로 구분할 수 있으며, 외기조건에 지배되는 실외월동은 포장작업에

소요되는 과도한 노동력, 보온재의 피복으로 인한 과습이나 환기불량, 월동기간 중 벌통내부의 심한 온·습도 변화 등 많은 문제점을 갖고 있다(Dyce와 More, 1960; Furgala, 1975). 최근 주요 양봉국가에서는 양봉기구의 단순 균일화 기계화를 통하여 양봉농가당 수천군의 봉군을 관리할 수 있도록 양봉에 소요되는 노동력을 절감하고 있는 추세이다(Furgala와 McCutcheon, 1993).

꿀벌은 월동시에 외기온이 14°C 이하로 내려가면 봉구(蜂球)를 형성하며, 봉구는 수축과 팽창을 통하여 봉구 표면온도를 항상 6°C~8°C 정도로 일정하게 유지한다(Farrar, 1931; Furgala와 McCutcheon, 1993; Yu, 1995a). 월동기간 중 기온이 급변하면 벌통의 내부에 형성된 봉구가 수축과 팽창을 반복하여 월동식량의 소비가 많아지게 되며, 주변온도가 심하게 하강하면

봉구가 더욱 수축하여 먹이로부터 멀어지게 되어 굶어 죽게 된다(Farrar, 1963; Yu, 1995).

Lee 등(1998a)은 경북 영주지역에 양봉사를 건축하여 실내월동에 대한 연구를 수행한 결과, 양봉사 내부에 별도의 냉난방 설비 없이 환기팬 제어만으로 꿀벌의 월동조건을 대체로 만족시킬 수 있는 결과를 얻었다. 그러나 외기온이 15°C 이상인 고온기에 양봉사 내부온도가 13°C까지 다소 과다 상승하는 경향이 있는 것을 확인하고 고온을 억제할 수 있는 환기팬 제어방식을 개선할 필요성을 제시한 바 있다. 이와 관련하여 Lee 등(1998b)은 국내 기후특징을 고려한 양봉사 설계를 위하여 양봉사 열환경 해석 프로그램을 개발하여 시뮬레이션을 한 결과, 기존의 환기팬 작동방식에 비하여 2.8°C까지 승온을 억제할 수 있는 새로운 환기팬 작동방식을 찾아내었다.

따라서, 본 연구에서는 양봉사 내부환경을 보다 효율적으로 조절할 수 있는 환기팬 작동방식을 구명하기 위하여 시뮬레이션을 통해 얻어진 환기팬 작동방식에 대한 연구결과를 양봉사에 직접 적용하여 실험을 실시하였으며, 양봉사 내부의 온도 및 습도변화에 대한 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교·분석하여 양봉사 설계시 양봉사 열환경 해석 프로그램의 적용성을 검토하고, 실험결과를 이용하여 환기팬 작동방식별 양봉사 내부환경의 조절 성능을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 월동용 양봉사의 크기 및 환경조건

양봉사의 내부크기는 4.2 m(폭)×7.2 m(길이)×2.88 m(높이)이며 양봉사의 벽체 및 지붕재는 두께가 100 mm 인 샌드위치 패널에 우레탄 폼(열저항값 6.1 m²·°C·W⁻¹)으로 마무리하였다. 그리고, 바닥면은 20 cm 두께의 콘크리트로 되어 있으며, 출입구에는 보온처리를 하였고 환기구에는 차광설치를 하였다(Lee 등, 1998a).

꿀벌의 월동에 영향을 미치는 환경요인은 온도, 습도, 공기조성, 광, 소음, 진동 등이며 이들 중 가장 중요한 요인은 온도와 습도이다. 꿀벌의 월동에 필요한 최적온도는 3~5°C이며 한계온도는 2~9°C이다. 적정 상대습도범위는 50~75%로 추천되고 있으나 상대습도가 30~44%인 경우에도 별 문제가 없는 것으로 나타났다(Fingler와 Small, 1982).

2. 저장 봉군수 및 온 습도 계속

벌통 한 개당 최소 0.3~0.45 m³의 공간이 필요하고(Yu, 1995b), 벌통 한 개당 여유 공간이 많아지면 공기유동이 원활해지므로 양봉사 내부에 120개(봉군당 0.8 m³)의 봉군을 저장하여 월동기간 중 환기팬 작동방식에 따른 양봉사 내부의 온·습도 변화를 비교·분석하였다. 온·습도변화는 양봉사 내·외부에 온·습도센서(HOBO)를 각각 2점씩 설치하여 계속하였다.

3. 양봉사 열환경 해석 프로그램

Lee 등(1998b)에 의해 개발된 양봉사 열환경 해석 프로그램은 양봉사의 규모 및 구조재, 저장봉군수, 환기량, 외기는 및 양봉사 구조재에 따른 양봉사 내부온도변화를 예측할 수 있다. 따라서 환기팬 작동방식, 즉 환기량 변화에 따른 양봉사 내부의 온도에 대한 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교·검토하였다.

4. 환기팬 작동방식

환기팬 작동방식 A는 Lee 등(1998a)의 실험에서 사용했던 방식이며, Table 1과 같이 양봉사 내부온도를 기준으로 환기팬을 작동하는 방식으로 양봉사 내부온도가 6°C 보다 높을 경우에는 연속 작동하여 최대 환기가 이루어지게 하고, 양봉사 내부온도가 6°C 보다 낮을 경우에는 3분 작동하고 27분 정지하여 최소환기가 이루어지도록 하였다.

Fingler와 Small(1982)에 의하면 겨울철에 필요한 양봉사의 최소환기량은 0.25 l·s⁻¹·hive⁻¹이기 때문에 벌통 120개를 저장하는 경우의 최소환기량은 108 m³.

Table 1. Fan operation methods for ventilation in bee house.

Fan operation method	Setting temperature (°C)	Fan operation schedule	Amount of ventilation (m ³ ·h ⁻¹)
A	^z T _{in} > 6	ON	2,220
	T _{in} ≤ 6	3 min, ON 27 min, OFF	222
	^v T _o > 9	3 min, ON 27 min, OFF	222
B	To ≤ 9	T _{in} ≤ 4 3 min, ON 27 min, OFF	222
		T _{in} > 4 ON	2,220

^zT_{in}: Inside temperature of bee house, ^vT_o: Outside temperature.

Table 2. The simulation results to decide the optimum setting temperature for fan operation in bee house

Setting temperature (°C)		Predicted inside temperature (°C)		
Outside	Inside	Minimum	Maximum	Average
8	2	2.1	8.6	5.7
	4	3.3	9.0	6.3
9	2	2.1	8.7	5.7
	4	3.3	9.0	6.4
10	2	2.1	8.9	5.8
	4	3.3	9.2	6.4
	6	4.5	9.4	7.1

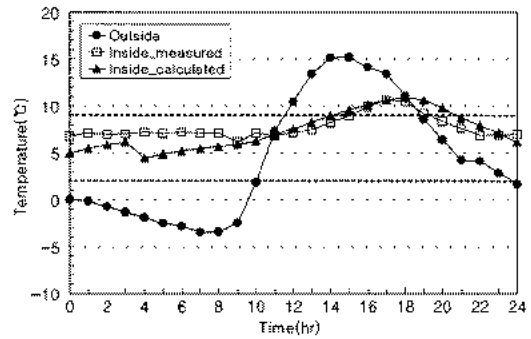
h^{-1} 이다. 습도조절을 위한 최소환기량은 월동용 양봉사 수분평형식(Lee 등, 1998b)을 이용하여 계산하면 $202.3 m^3 \cdot h^{-1}$ 인 것으로 나타났다. 따라서 최소환기량은 환기팬 용량을 고려하여 $222 m^3 \cdot h^{-1}$ 로 결정하였다.

환기팬의 최적제어조건을 결정하기 위하여 외기온이 $-5.0 \sim 15.2^{\circ}C$ (평균 $3.7^{\circ}C$) 범위일 때 설정외기온을 $8 \sim 10^{\circ}C$ 범위에서 $1^{\circ}C$ 씩 증가시키고, 설정내부온도는 $2 \sim 6^{\circ}C$ 범위에서 $2^{\circ}C$ 씩 증가시켜 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 2와 같다. 양봉사의 내부온도는 환기팬 작동을 위한 설정외기온 보다 설정내부온도의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났으며, 적정 내부온도를 유지하는 범위에서 신선한 공기를 많이 유입시키는 것이 유리하므로, 환기팬 작동방식의 제어조건은 설정외기온을 $9^{\circ}C$ 로, 설정내부온도를 $4^{\circ}C$ 로 하는 것이 가장 적합한 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 토대로 Table 1과 같이 환기팬 작동방식 B를 구성하였으며, 외기온이 9 보다 높을 경우에는 양봉사 내부온도에 관계없이 최소환기만 이루어지도록 하고, 외기온이 $9^{\circ}C$ 보다 낮을 경우에는 양봉사 내부온도를 고려하여 내부온도가 $4^{\circ}C$ 보다 높을 경우에는 최대 환기가 이루어지도록 연속작동 하도록 하였으며, $4^{\circ}C$ 보다 낮을 경우에는 최소환기가 이루어지도록 하였다.

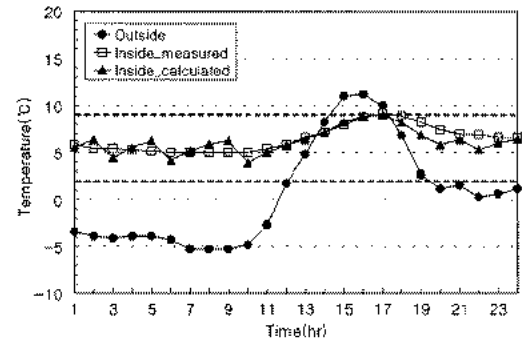
결과 및 고찰

1. 양봉사 열환경 해석 프로그램의 적용성

양봉사 열환경 해석 프로그램이 지역별 기상조건을 고려한 양봉사 설계에 적용이 가능한지를 판단하기 위



(a) Fan operation method A



(b) Fan operation method B

Fig. 1. Comparison of calculated and measured inside temperatures of bee house.

하여 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다. Fig. 1은 환기팬 작동방식을 A와 B로 하였을 경우에 외기온의 변화가 비슷한 날을 택하여 시뮬레이션과 실험결과로 얻어진 양봉사 내부온도를 비교·분석한 것이다. 시뮬레이션과 실험결과의 차이가 작동방식 A의 경우에는 $0.2 \sim 2.7^{\circ}C$ (평균 $1.0^{\circ}C$)로 나타났으며, 작동방식 B는 $0.0 \sim 1.6^{\circ}C$ (평균 $0.6^{\circ}C$)로 나타났다. 실측과 계산에 의한 양봉사 내부온도가 최고 $1.6 \sim 2.7^{\circ}C$ 까지 차이가 나는 것은 시뮬레이션을 이용하여 양봉사 내부온도를 예측할 경우에는 1 시간 간격으로 양봉사 내부온도를 계산하기 때문에 환기팬 작동방식에서 경계조건인 내부온도가 $6^{\circ}C$ 이하가 되면 환기팬 작동이 중지하여야 하나 1시간 동안 계속 환기팬이 작동하는 것으로 계산하기 때문에 다소 큰 차이가 발생하였다. 그러나 실측과 계산에 의한 내부온도의 차가 평균 $1.0^{\circ}C$ 이하이므로 측정의 위치와 센서의 오차범위를 감안한다면 양봉사 열환경 해석 프로그램을 양봉사 설계에 적절하게 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

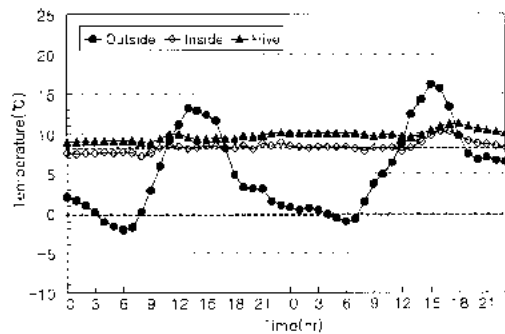
2. 환기팬 작동방식별 양봉사 내부환경의 조절 성능

2.1. 환기팬 작동방법에 따른 양봉사 내부의 온도 변화

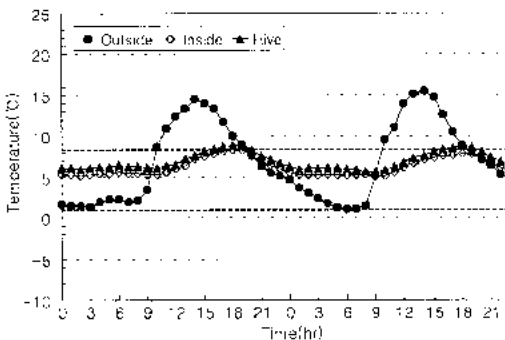
Fig. 2 및 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 환기팬을 작동방식 A에 따라 작동한 경우, 외기온이 $-2.2 \sim 16.2^{\circ}\text{C}$ (평균 5.1°C)일 때 양봉사의 내부온도는 $7.1 \sim 10.3^{\circ}\text{C}$ (평균 8.3°C), 벌통의 내부온도는 $8.8 \sim 11.3^{\circ}\text{C}$ (평균 9.8°C)로 나타났으며, 외기온의 편차가 18°C 정도 일때, 양봉사내부의 온도편차는 약 3.2°C , 벌통 내부의 온도편차는 약 2.5°C 이었다. 또한 환기팬을 작동방식 B에 따라 작동한 경우, 외기온이 $1.0 \sim 15.5^{\circ}\text{C}$ (평균 6.9°C)일 때 양봉사의 내부온도는 $5.0 \sim 8.4^{\circ}\text{C}$ (평균 6.2°C), 벌통의 내부온도는 $5.6 \sim 8.9^{\circ}\text{C}$ (평균 7.0°C)로 나타났으며, 외기온의 편차가 15°C 정도일 때, 양봉사

내부 및 벌통내부의 온도편차는 약 3.3°C 이었다. 따라서 양봉사 내부 및 벌통 내부의 온도차는 두 가지 환기팬 작동방식 모두 3°C 내외 정도임을 알 수 있었다.

Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 외기온이 비슷한 조건에서는 작동방식 B의 경우가 A 보다 양봉사 내부의 온도가 대체로 더 낮았으며, Table 3으로부터 작동방식 A에 비하여 작동방식 B의 경우가 벌통 내부의 온도가 평균 2.8°C , 양봉사 내부의 온도가 평균 2.1°C 더 낮은 것을 알 수 있었다. 이것은 Lee 등 (1998b)이 제시한 환기팬 작동방식에 따라 양봉사 내부의 승온억제를 최고 2.8°C 까지 할 수 있다는 내용을 뒷받침하는 실험결과이며 작동방식 B가 A 보다 환기성능이 우수함을 확인할 수 있는 실험결과이다.

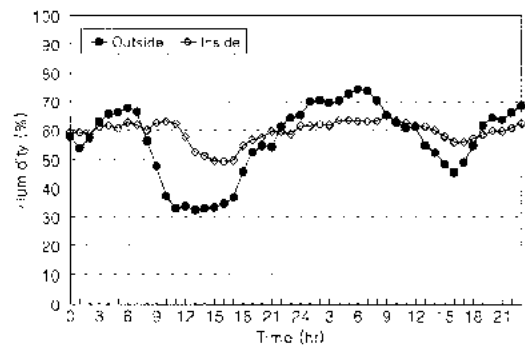


(a) Fan operation method A

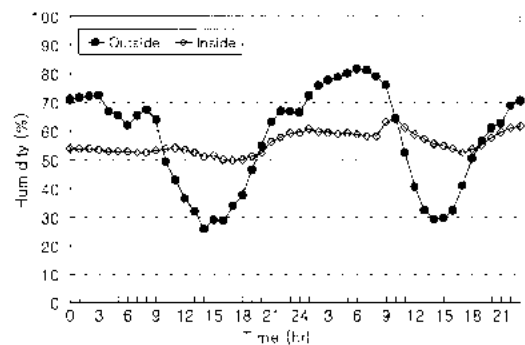


(b) Fan operation method B

Fig. 2. Inside and outside temperature variation of bee house.



(a) Fan operation method A



(b) Fan operation method B

Fig. 3. Inside and outside humidity variation of bee house.

Table 3. Maximum, minimum, and average of inside and outside air temperature.

Fan operation method	$T_{out} (^{\circ}\text{C})$			$T_{in} (^{\circ}\text{C})$			$T_{box} (^{\circ}\text{C})$		
	Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average
A	16.2	-2.2	5.1	10.3	7.1	8.3	11.3	8.8	9.8
B	15.5	1.0	6.9	8.4	5.0	6.2	8.9	5.6	7.0
A - B	0.7	-3.2	-1.8	1.9	2.1	2.1	2.4	3.2	2.8

2.2. 환기팬 작동방법에 따른 양봉사 내부의 상대습도 변화

양봉사의 환기팬 작동방식별 외부의 상대습도 변화에 따른 내부의 상대습도 변화를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 환기팬을 작동방식 A에 따라 작동한 경우 외부의 상대습도가 32.4~74.3%(평균 56.7%) 범위일 때, 양봉사 내부의 상대습도는 49.3~65.4%(평균 59.5%) 범위였으며, 외부습도의 편차는 41.9%이고, 양봉사 내부의 습도편차는 16.1%였다. 그리고 환기팬을 작동방식 B에 따라 작동한 경우에는 외부습도가 25.9~81.7%(평균 57.4%) 범위일 때, 양봉사의 내부습도는 49.9~64.2%(평균 55.9%) 범위였으며, 외부의 편차는 55.8%이고, 양봉사 내부의 습도편차는 14.4%에 불과하였다.

이러한 결과로 미루어 볼 때, 환기팬 작동방식 A와 B 모두 꿀벌이 월동하기에 적합한 습도범위(50~75%) 내에 있었으나, 개선된 환기팬 작동방식에 따른 양봉사 내부습도의 최고, 최저편차가 약 2%, 평균습도가 약 5% 감소하여 개선된 환기팬 작동방식에 비해 습도환경조절에 있어 좀 더 안정적인 것으로 나타났다.

적 요

본 연구에서는 양봉사 내부환경을 보다 효율적으로 조절할 수 있는 환기팬 작동방식을 구명하기 위하여 시뮬레이션을 통해 얻어진 환기팬 작동방식에 대한 연구결과를 양봉사에 직접 적용하여 실험을 실시하였으며, 양봉사 내부의 온도 및 습도변화에 대한 시뮬레이션과 실험결과를 비교·분석하여 양봉사 설계시 양봉사 열환경 해석 프로그램의 적용성을 검토하고, 실험결과를 이용하여 환기팬 작동방식별 양봉사 내부환경의 조절 성능을 분석하였다. 기 개발된 양봉사 열환경 해석 프로그램은 앞으로 양봉사 설계에 적절하게 이용할 수 있을 것으로 판단되었다. 외부기온이 비슷한 조건에서는 환기팬 작동방식 B의 경우가 A의 경우보다 양봉사의 내부온도가 대체로 더 낮았으며, 평균적으로 벌통 내부는 2.8°C, 양봉사 내부는 2.1°C 더 낮았다. 이것은 Lee 등(1998b)이 제시한 환기팬 작동방식에 따라

양봉사 내부의 승온억제를 최고 2.8°C까지 할 수 있다는 내용을 뒷받침하는 실험결과이다. 환기팬 작동방식 A와 B 모두 꿀벌이 월동하기에 적합한 상대습도 범위(50~75%)였으나, 방식 B가 A 보다 양봉사 내부 습도의 최고 및 최저편차가 약 2%, 평균습도가 약 5% 적게 나타나 습도환경조절에 있어 좀 더 안정적인 것으로 판단되었다. 따라서 환기팬 작동방식 B는 A에 비하여 양봉사 내부환경조절 성능이 더욱 우수하고 효율적인 것으로 판단되었다.

주제어 : 환기성능, 시뮬레이션, 실험

인 용 문 헌

1. Dyce, E.J. and R.A. Morse. 1960. Wintering honeybees in New York State. N.Y. State College of Agriculture. Cornell Extension Bull. 1054.
2. Farrar, C.L. 1931. A Measure of some factors affecting the development of the honey bee colony. Unpublished. Thesis. Mass. Sta. Coll.
3. Farrar, C.L. 1963. The overwintering of productive colonies. in Grout, R. The Hive and the Honey Bee. Dadant and Sons, Inc., Hamilton, Illinois. p. 341.
4. Furgala, B. 1975. Fall management and the wintering of productive colonies. The Hive and the Honey Bee. Dadant and Sons, Inc., Hamilton, Illinois. p. 471-490.
5. Furgala, B. and D.M. McCutcheon. 1993. Wintering productive colonies. The Hive and the Honey Bee. Dadant and Sons, Inc., Hamilton, Illinois. p. 829-868.
6. Fingler, B. and D. Small. 1982. Indoor wintering in Manitoba. Manitoba Beekeeper. Fall Issue. Manitoba Department of Agriculture. Winnipeg. p. 7-19.
7. Gang B.S. 1996. Wintering methods of honeybee. Agriculture technology. 96(10):21-22. (in Korean).
8. Lee S.G., K.S. Choi, H.W. Lee, Z.H. Li and J.W. Lee. 1998a. Structure and environment control of overwintering honey bee house. Korea J. Apiculture. 13(1):15-20. (in Korean).
9. Lee S.G., Z.H. Li, H.W. Lee and K.S. Choi. 1998b. Simulation of thermal environment in wintering honey bee house. KSAE. 40:39-44.
10. Yu Yeong Su. 1995a. Wintering of honeybee. Yang Bong Gye. 29(2):15-20 (in Korean).
11. Yu Yeong Su. 1995b. Indoor-wintering of honeybee. Yang Bong Gye. 29(8):16-21 (in Korean).