

증발냉각시스템의 온실냉방 적용성 평가

남 상 운

충남대학교 농공학과

Adaptability of Evaporative Cooling System for Greenhouses to the Weather Conditions of Korea

Nam, Sang-Woon

Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam Nat'l Univ., Taejeon 305-764, Korea

Abstract

The adaptability of an evaporative cooling system to hot summer climate in greenhouses was comprehensively judged by fuzzy theory, based on the 20 years(1975~1994) weather data of nine representative regions in Korea. As uses the evaporative cooling system for greenhouses during summer in Korea, the inside air temperature of most regions except the southwest coastal areas, the south coastal areas, and Cheju island can be basically controlled below 32.5°C, and ventilating air can be cooled 5°C and more. The analyzed results in this paper are on the basis of good ventilation system. When the evaporative cooling system is applied, the ventilation system which has good air flow organization is needed. Although the summer climate in Korea is high temperature and humidity, evaporative cooling systems are suitable for farm buildings in most regions. This facts better meet the needs of cooling for greenhouse in summer and provides a scientific basis for spreading the evaporative cooling system. It is proposed that the further research is needed about the application of evaporative cooling system to greenhouses.

주제어 : 온실냉방, 증발냉각시스템의 적용성, 퍼지이론, 기후조건

Key words : greenhouse cooling, adaptability of evaporative cooling system,
fuzzy theory, weather conditions

서론

증발냉각시스템의 원리는 물이 수증기로 상태변화할 때 필요한 기화열을 주변으로부터 공급받으면서 공기의 온도를 감소시키는 것이다. 이것은 덥고 건조한 지역에서는 매우 효과적이지만 상대습도가 높은 지역에서는 냉방효과가 낮다. 따라서 국내의 모든 지역에 증발냉각시스템의 적용이 적합한지는 의문이다.

잘 설계된 증발냉각시스템의 냉각효율은 보통 80%이상이다(Albright, 1990). 만일 증발냉각 효율(η)이 80%라면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$\eta = \frac{T_d - T}{T_d - T_w} = 0.8 \quad (1)$$

여기서, T는 냉각된 공기의 건구온도, T_d , T_w 는 외부공기의 건구온도, 습구온도이다.

식(1)에서 냉각된 공기의 온도(T)와 증발냉각시스템을 통과한 환기공기의 냉각범위(ΔT)는 다음 식에 의해서 계산될 수 있다.

$$T = T_d - 0.8(T_d - T_w) = 0.2T_d + 0.8T_w \quad (2)$$

$$\Delta T = T_d - T = 0.8(T_d - T_w) \quad (3)$$

그러므로 T와 ΔT 는 건구온도와 습구온도만의 함수로 표현된다. 따라서 어떤 지역에 있어서 환기공기 온도와 증발냉각시스템을 통과한 환기 공기의 냉각범위는 그 지역의 기상자료(T_d 와 T_w)만으로 계산될 수 있다. 또한 증발냉각시스템이 가동되는 온실의 기온은 환기시스템의 합리적인 설계에 의해서 조절될 수 있다.

어떤 지역에서 증발냉각시스템의 냉각효과는 여러 해 동안의 기상데이터(T_d 와 T_w)를 분석함으로써 구할 수 있다. 또한 증발냉각시스템이 그 지역에 적합한지의 여부도 결정할 수 있다. 그러나 증발냉각시스템의 냉각효과가 좋은지 여부를 단적으로 판단하는 것은

쉽지 않으므로 퍼지이론의 사고방식을 도입하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 본 논문에서는 우리 나라 각 지역의 20년간(1975~1994) 기상데이터를 이용하여 퍼지수학적 방법으로 증발냉각시스템의 온실냉방 적용성을 평가해 보았다.

재료 및 방법

1. 퍼지 이론의 도입

증발냉각시스템의 냉각효과는 다음의 두 가지 관점에 의해서 결정될 수 있다. 하나는 증발냉각시스템을 통과한 공기의 냉각범위(ΔT)이고, 다른 하나는 실내 환경과 만나는 냉각된 공기의 온도(T)이다. 그러므로 판단 영역은 다음과 같다.

$$U = \{\Delta T, T\} \quad (4)$$

ΔT 와 T는 모두 외기의 건구온도와 습구온도에 의해서 결정되므로 여러 해 동안의 기상자료를 이용함으로써 여러 가지의 다른 결과를 얻을 수 있을 것이다. 편리하게 판단하기 위해서 ΔT 와 T의 인자를 여러 개의 작은 요소로 분할할 수 있다. 만일 1975~1994년까지 20년간의 기상데이터가 주어저 있다면 그들은 다음의 관계를 갖는다.

$$\Delta T = \{\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \dots, \Delta T_{20}\} \quad (5)$$

$$T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_{20}\} \quad (6)$$

판단방식은 2단계의 퍼지 종합판단방식이 되며, 판단(의견)의 범위는 다음 V와 같다.

$$V = \{\text{매우적합}, \text{적합}, \text{보통}, \text{부적합}\} \quad (7)$$

2. 퍼지 판단의 기준

증발냉각시스템의 냉방효과에 관한 퍼지 판단 기준은 제시된 바가 없다. 본 논문에서는 환경과 생물반응에 관한 문헌들을 참고하여 기준을 설정하였다. 일반적으로 가축이나 작물의 여름철 쾌적한 온도조건으로는 24~28℃가 제시되고 있다(최, 1989; Albright,

1990). 기사에서는 여름철 최고기온이 28℃ 이하일 때 생장과 산란율, 사료 이용률이 가장 좋은 것으로 보고되어 있다. 그리고 30℃를 초과하면 닭의 체온이 증가하여 생산효율이 떨어지고, 산란율과 계란의 품질이 저하하며 폐사율이 증가한다. 32℃를 초과하면 고온 스트레스를 받게된다. 그러나 온실의 경우에는 일사부하 때문에 30℃이하로 제어하기는 쉽지 않다. 작물에 따라서 차이는 있지만 대부분 작물의 광합성 최적온도는 25℃내외이고, 생육적온은 25~30℃, 최고 한계기온은 35℃정도이다(김 등, 1997). 증발냉각시스템의 제어에 있어서 32℃에 시스템을 ON하는 경우가 많다(小澤, 1993). 따라서 온실의 실내기온(T_i)을 다음과 같은 4구역으로 구분하였다.

- $T_i \leq 30^\circ\text{C}$ (매우적합)
- $T_i = 30 \sim 32.5^\circ\text{C}$ (적합)
- $T_i = 32.5 \sim 35^\circ\text{C}$ (보통)
- $T_i > 35^\circ\text{C}$ (부적합)

온실에서는 매분 3/4~1회의 공기 교환을 최소 환기율로 권장한다. 온실의 환기시스템에 있어서 청명한날 매분 1회의 공기 교환은 약 5℃의 온도상승을 초래하게 된다(최, 1989). 따라서 증발냉각기를 통과한 공기의 온도(T)와 실내평균온도(T_i)사이에는 다음 식을 가정할 수 있다.

$$T = T_i - 5^\circ\text{C} \quad (8)$$

식 (8)로부터 증발냉각시스템의 냉방효과와 그것의 기후적인 적용성에 대한 판단기준은 다음과 같이 결정될 수 있다.

판단규칙(1) :

- $T \leq 25^\circ\text{C}$ (매우적합)
- $T = 25 \sim 27.5^\circ\text{C}$ (적합)
- $T = 27.5 \sim 30^\circ\text{C}$ (보통)
- $T > 30^\circ\text{C}$ (부적합)

증발냉각기를 통과할 때의 냉각범위(ΔT)

는 일반적으로 7℃이상일 때 냉방효과가 매우 좋은 것으로 보고되어 있다. 그러나 냉각 범위가 3℃미만인 경우에는 냉방효과가 좋지 않은 것으로 되어 있다(남, 1996; 三原, 1980). 따라서 다음과 같은 또 다른 판단 규칙을 하나 더 얻을 수 있다.

판단규칙(2) :

- $\Delta T \geq 7^\circ\text{C}$ (매우적합)
- $5^\circ\text{C} \leq \Delta T < 7^\circ\text{C}$ (적합)
- $3^\circ\text{C} \leq \Delta T < 5^\circ\text{C}$ (보통)
- $\Delta T < 3^\circ\text{C}$ (부적합)

판단규칙 (1)과 (2)를 적용하여 종합적인 퍼지 판단으로 우리나라 각 지역의 기후조건에 따른 증발냉각시스템의 온실냉방 적용성을 평가하였다.

결과 및 고찰

증발냉각시스템의 기후적용성에 관한 퍼지 판단을 위하여 우리나라의 기후구분에 따른 대표적인 지역으로 수원, 대전, 춘천, 강릉, 목포, 광주, 대구, 부산, 제주의 9개 지역을 선정하였다(김 등, 1997). 1975년부터 1994년까지 20년간 6, 7, 8월의 매일 최고기온과 그때의 습구온도(최저습도로부터 계산)를 이용하여 분석하였다. 판단과정을 간단하게 하기 위하여 기온이 30℃ 이상 되는 자료만을 사용하였으며, 지역별 분석에 사용한 고온일수는 Table 1과 같다.

수원지방을 예로 퍼지판단 과정을 설명하면 다음과 같다. 1975년 수원지방의 기상자료를 가지고 식(2)를 이용하여 판단규칙(1)의 요인 T를 구해 보면 “매우적합” 10일, “적합” 27일, “보통” 3일이고 “부적합”한 경우는 없었다. 1975년에 30℃이상인 날은 총 40일이므로, 이상의 결과를 40으로 나누면 각각 0.25, 0.675, 0.075, 0.0이 된다. 이것이 1975년 수원 지방에 대한 기후적합성의 하위요소가 된다.

Table 1. Analyzed hot days of 20 years weather data.

Regions	Hot days			Ratio ² (%)
	≥30°C	≥35°C	Total	
Suwon	509	17	526	28.6
Taejeon	723	43	766	41.6
Chuncheon	652	36	688	37.4
Kangnung	418	69	487	26.5
Mokpo	576	22	598	32.5
Kwangju	741	49	790	42.9
Taegu	778	178	956	52.0
Pusan	417	6	423	23.0
Jeju	542	6	548	29.8

²Ratio of total hot days to 1840 days(Jun. to Sep. in 1975 to 1994).

즉,

$$R_T = (0.250, 0.675, 0.075, 0)$$

같은 방법으로 식(3)을 이용하여 판단규칙 (2)의 요인 ΔT 를 구해 보면 “매우적합” 6 일, “적합” 18일, “보통” 16일이고 “부적합”한 경우는 없었다. 이것을 40으로 나누면 관련된 하위요소가 얻어질 수 있다.

$$R_{\Delta T} = (0.150, 0.450, 0.400, 0)$$

이상과 같은 방법으로 다른 해의 하위요소를 구하여 퍼지 판단을 위한 행렬(20×4)을 구성하면 다음과 같다.

매년 30°C이상 되는 일수를 20년간 분석에 사용된 데이터수로 나누면 가중치 집합을 만들 수 있다.

$$A = \begin{pmatrix} 0.076, & 0.032, & 0.055, & 0.065, & 0.053, \\ 0.008, & 0.049, & 0.049, & 0.044, & 0.068, \\ 0.065, & 0.029, & 0.032, & 0.053, & 0.053, \\ 0.070, & 0.044, & 0.046, & 0.010, & 0.099 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$R_T = \begin{pmatrix} 0.250 & 0.675 & 0.075 & 0 \\ 0.471 & 0.529 & 0 & 0 \\ 0.379 & 0.621 & 0 & 0 \\ 0.206 & 0.735 & 0.059 & 0 \\ 0.250 & 0.679 & 0.071 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.346 & 0.500 & 0.154 & 0 \\ 0.423 & 0.538 & 0.038 & 0 \\ 0.174 & 0.565 & 0.261 & 0 \\ 0.222 & 0.722 & 0.056 & 0 \\ 0.176 & 0.794 & 0.029 & 0 \\ 0.400 & 0.600 & 0 & 0 \\ 0.706 & 0.294 & 0 & 0 \\ 0.429 & 0.500 & 0.071 & 0 \\ 0.464 & 0.536 & 0 & 0 \\ 0.027 & 0.622 & 0.351 & 0 \\ 0.348 & 0.522 & 0.130 & 0 \\ 0.167 & 0.667 & 0.167 & 0 \\ 0.800 & 0.200 & 0 & 0 \\ 0.288 & 0.692 & 0.019 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{\Delta T} = \begin{pmatrix} 0.150 & 0.450 & 0.400 & 0 \\ 0.176 & 0.588 & 0.235 & 0 \\ 0.379 & 0.552 & 0.069 & 0 \\ 0.206 & 0.676 & 0.118 & 0 \\ 0.179 & 0.536 & 0.286 & 0 \\ 0.750 & 0.250 & 0 & 0 \\ 0.231 & 0.385 & 0.385 & 0 \\ 0.269 & 0.577 & 0.154 & 0 \\ 0.174 & 0.478 & 0.348 & 0 \\ 0.278 & 0.500 & 0.222 & 0 \\ 0.118 & 0.765 & 0.118 & 0 \\ 0.200 & 0.467 & 0.333 & 0 \\ 0.235 & 0.706 & 0.059 & 0 \\ 0.286 & 0.679 & 0.036 & 0 \\ 0.393 & 0.500 & 0.107 & 0 \\ 0.027 & 0.351 & 0.595 & 0.027 \\ 0.174 & 0.522 & 0.304 & 0 \\ 0.125 & 0.333 & 0.458 & 0.083 \\ 0.400 & 0.400 & 0.200 & 0 \\ 0.692 & 0.269 & 0.038 & 0 \end{pmatrix}$$

이 가중치 집합을 앞의 행렬에 곱해주면 증발냉각시스템의 적용성에 관한 판단 결과를 얻을 수 있다.

$$B_T = A \cdot R_T \quad (10)$$

$$= (0.304, 0.612, 0.084, 0.0)$$

$$B_{\Delta T} = A \cdot R_{\Delta T} \quad (11)$$

$$= (0.262, 0.502, 0.230, 0.006)$$

식(10)에 의한 결과의 의미는 수원지방에서 기온이 30℃ 이상일 때 증발냉각시스템을 이용하여 30%는 실내온도를 30℃ 이하로 냉방할 수 있고, 32.5℃ 이하로 냉방할 수 있는 것이 90% 이상이라는 것이다. 그리고 오직 8.4%만이 실내온도를 32.5~35℃로 유지할 수 있고, 35℃를 넘는 날은 전혀 없다는 것을 의미한다.

또 다른 결과는 냉각범위 ΔT 에 관한 것으로서 식(11)과 같다. 이것은 수원지방에서 기온이 30℃ 이상인 날의 약 76%가 증발냉각시스템을 이용하여 5℃ 이상 냉각할 수 있으며, 23%는 3~5℃ 냉각할 수 있다는 것을 의

미한다. 이들 두 판단 결과를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같으며, 수원지방에서의 증발냉각시스템의 적용성은 비교적 큰 것으로 판단된다.

마찬가지 방법으로 다른 지역에 대하여 증발냉각시스템의 적용성을 평가해 보면 Table 2와 같다. 실내기온(T_i)에 대해서는 춘천과 수원지방이 가장 적용성이 큰 것으로 나왔으며 대체로 32.5℃ 이내로 제어가 가능하고 다른 지방도 35℃를 넘는 경우는 거의 없다. 냉각범위(ΔT)는 수원, 대전, 춘천, 강릉, 광주, 대구 등 대부분 지역에서 5℃ 이상을 보인 반면에 목포, 부산, 제주지역에서는 3~7℃의 범위를 나타냈다. 결론적으로 우리 나라의 대부분 지역에서 증발냉각시스템의 적용성은 비교적 큰 것으로 나타났으나 남부서해안과 남해안, 제주도지역은 약간 적용성이 떨어지는 것으로 판단된다.

우리 나라에서 증발냉각시스템을 설치하여 냉방을 실시하는 농가는 유리온실 및 1-2W

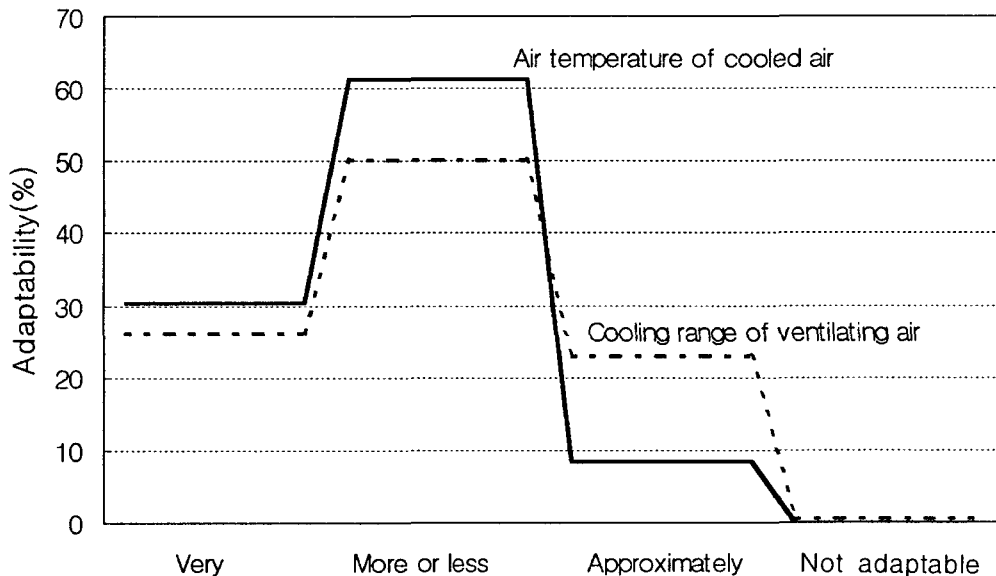


Fig. 1. Adaptability of evaporative cooling system in the district of Suwon.

Table 2. Climatic adaptability of evaporative cooling system in Korea.

Regions	Inside air temperature, T_i (°C)				Cooling range, ΔT (°C)				Results
	≤30	≤32.5	≤35	>35	≥7	≥5	≥3	<3	
Suwon	0.304	0.612	0.084	0	0.262	0.502	0.230	0.006	more or less adaptable
Taejeon	0.371	0.510	0.119	0	0.420	0.440	0.134	0.005	more or less adaptable
Chuncheon	0.526	0.385	0.087	0.001	0.515	0.403	0.080	0.003	very adaptable
Kangnung	0.370	0.480	0.150	0	0.526	0.353	0.121	0	more or less adaptable
Mokpo	0.184	0.639	0.177	0	0.161	0.503	0.324	0.012	approximately adaptable
Kwangju	0.227	0.615	0.158	0	0.256	0.511	0.228	0.005	more or less adaptable
Taegu	0.388	0.472	0.132	0.008	0.600	0.327	0.070	0.002	more or less adaptable
Pusan	0.061	0.733	0.203	0.002	0.040	0.326	0.624	0.009	approximately adaptable
Jeju	0.086	0.757	0.157	0	0.095	0.374	0.520	0.011	approximately adaptable

형 플라스틱 현대화온실 경영농가중 5.9%에 지나지 않으며, 대부분이 휴작하거나 매우 열악한 환경 하에서 재배가 이루어지고 있는 실정이다(김 등, 1997). 그러나 앞의 분석 결과에서 알 수 있는 바와 같이 증발냉각시스템의 적용성은 충분히 큰 것으로 판단되므로 확대보급을 위한 기술의 체계화 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

적 요

우리 나라의 기후구분에 따른 대표적인 9개 지역의 20년간(1975~1994) 기상자료를 기초로 여름철 고온기(6, 7, 8월) 온실에 대한 증발냉각시스템의 적용성을 퍼지이론에 의하여 종합적으로 평가해 보았다. 남부서해안과 남해안, 제주도 등 일부지역을 제외한 대부분 지역에서 증발냉각시스템을 이용하여 온실의 실내온도를 32.5°C 이내로 제어하는 것이 가능하며, 증발냉각시스템에서의 냉각범위가 5°C 이상으로 나타났다. 본 논문에서 분석한 결과는 환기시스템이 잘 갖추어진 것을 전제로 하였으므로 증발냉각시스템을 적용할 경우에는 충분한 기계환기시스템을 갖출 필요

가 있다. 우리 나라의 여름철 기후는 고온다습하지만 증발냉각시스템의 적용성은 충분히 큰 것으로 판단되므로 확대보급을 위한 기술의 체계화 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 기상청. 1995. HISS 기상 데이터베이스 (1975~1994). 한국건설기술연구원.
2. 김문기, 이석건, 정순주, 류관희, 서원명, 윤용철, 손정익, 이현우, 남상운. 1997. 원예시설의 환경설계기준 작성연구. 농어촌진흥공사. p. 221-250.
3. 김종호, 이형엽. 1991. 퍼지의 세계. 소화사. p. 217.
4. 남상운. 1996. 온실 냉방 기술의 현황 및 과제. 한국첨단농업시설협의회 연구발표 3 : 57-88.
5. 남상운, 김문기. 1998. 지역별 기상조건에 따른 증발냉각시스템의 적용성. 한국생물생산시설환경학회 학술논문발표요지 7(1) : 11-15.
6. 서원명, 윤용철, 박중춘, 손영걸. 1995. 우

- 리 나라 온실의 냉방시스템 도입 검토.
경상대 시설원예연구 2 : 123-145.
7. 최홍림. 1989. 농업시설물의 환기. 대광문화사. p. 127-144.
 8. Albright, L.D. 1990. Environment Control for Animals and Plants. The American Society of Agricultural Engineers. p. 7-48.
 9. ANSI/ASAE. 1997. Heating, Ventilating and Cooling Greenhouse. ASAE STANDARDS 1997. p. 663-670.
 10. Canton, G.H., D.E. Buffington and F.B. Mather. 1983. Evaporative Cooling Effects on Mature, Male Broiler Breeders. Trans. of the ASAE 26 : 1794-1797.
 11. Gates, R.S. and M.B. Timmons. 1988. Stochastic and Deterministic Analysis of Evaporative Cooling Benefits for Laying Hens. Trans. of the ASAE 31 : 904-909.
 12. 三原義秋. 1980. 溫室設計の基礎と實際. 養賢堂, 東京. p. 160-169.
 13. 小澤行雄, 內藤文男. 1993. 園藝施設學入門. 川島書店, 東京. p. 105-113.