

호접란 온실의 열지수 분석¹⁾

Analysis of the heat index in the greenhouse of the Moth orchid

김영복*	박중춘**	이승규*	김성태*	나우정*	허무룡**
정희원			정희원	정희원	정희원
Kim, Y. B.*	Park, J. C.**	Lee, S. K.*	Kim, S. T.*	La, W. J.*	Huh, M. R.**

1. 서론

그린하우스내의 식물에게 필요한 열환경과 관련하여 일반적으로 온도와 습도를 각각 하나의 척도로 분석을 하여 왔다. 그런데 온도와 습도는 서로 상호관계를 가지고 변하며 그 조합에 의해 식물이 영향을 받는다. 이러한 온도와 습도를 함께 고려하는 척도를 열지수로 하고, 그 열지수가 인간과 동물에 어떠한 영향을 주는지 상당한 관심이 고조되고 있다(김, 2006). 본 연구에서는 호접란 재배 그린하우스에서의 열환경을 측정하여 열지수를 계산하고 그 변화와 상호관계를 비교분석함으로써 온도와 습도를 함께 고려하는 열지수정보를 도입, 농업시설내 열환경관리에 이용하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 열환경인자 및 열지수

열환경을 나타내는 인자로서 온도, 습도, 조도 등이 있으며, 온도는 건구온도와 습구온도, 복사열 측면에서 흑구온도(Black Globe Temperature)가 있다. 열스트레스 환경을 나타내는 인자로서 건구온도, 습구온도와 흑구온도를 동시에 반영하는 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature)가 있으며, 이는 외기에서는 습구온도, 흑구온도, 건구온도를 각각 70, 20, 10 %씩 가중치를 두어 합산하고, 실내에서는 습구온도와 흑구온도를 각각 70, 30 %씩 가중치를 두어 합산하여 계산한다. WBGT는 군대에서 신체활동 범위를 판단할 때라든지 산업재해와 관련한 환경관리, 운동관리에 사용되고 있다. 본 연구에서는 열스트레스인자로서 열지수(Heat Index:HI)를 도입하였는데 이것은 건구온도와 상대습도를 동시에 고려하여 인간이 느끼는 후덥지근한 정도를 나타내는 것이다. 열지수는 열파지수(Heat wave index)라고도 불리우며, 고온다습한 정도를 나타내는 하나의 척도이다. 이는 열지수가 높은 기간 중 사망자수가 현저하게 증가하는 것에 주목한 미국 NOAA /NWS(National Weather Service)가 고온다습한 환경에 대한 대국민 경보를 더욱 효율적으로 제시하여 열파에 미리 대처할 수 있는 체제를 개발하기 위하여 도입한 것이다. 열파지수는 방정식에 상대습도와 결합되지만 그 단위가 미국에서는 화씨온도(°F)로 표시되며, 습도와 기온이 복합되어 사람이 실제로 느끼는 기온을 표현한다. 즉, 똑같은 기온이라도 습도가 높으면 더 덥게 느껴지는 것을 지수화한 것이다. 열지수는 개발된 계산방정식에 의하면 화씨온도(°F)로 표시되며, 습도와 기온이 복합되어 사람이 실제로 느끼는 기온을 표현한다. 즉, 똑같은 기온이라도 습도가 높으면 더 덥게

* 경상대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과, 농업생명과학연구원

** 경상대학교 농업생명과학대학 식물자원환경학부 원예학전공

느껴지는 것을 지수화한 것이다. 이러한 열지수를 계산하여 그 열지수에 따라 발생가능한 질병을 제시하고 활동에 주의를 경고하고 있다. 열지수의 계산방정식은 Lans P. Rothfus에 의해 회귀관계식으로 만들어졌으며, 1990년 National Weather Service (NWS) Technical Attachment (SR 90-23)에 기록되었다. 그 계산식은 아래 방정식 (1)과 같다(SRH, 2005). 이 방정식은 건구온도가 적어도 80 °F(26.7 °C) 이상, 상대습도가 40 % 이상인 경우에 적용된다. 방정식을 보면 계산된 열지수(HI)는 화씨온도로 표시된 하나의 겉보기온도(apparent temperature)라 할 수 있다. 계산오차는 ±1.3 °F이며, 방정식 중 T는 화씨온도(°F)로 나타낸 건구온도, R는 %로 나타낸 상대습도이다.

$$HI = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.1433127 \times R - 0.22475541 \times T \times R - 6.83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} \times R^2 + 1.22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times R + 8.5282 \times 10^{-4} \times T \times R^2 - 1.99 \times 10^{-6} \times T^2 \times R^2 \quad \text{---- (1)}$$

열지수의 영향은 인간에 대한 영향은 상당히 확립되어 있지만 식물이나 동물의 경우에는 아직 연구가 부족한 실정이며, 인간의 경우 열지수에 따라 발생가능한 증상이 제시되고 있다(SRH, 2005).

나. 측정 호접란 온실

측정대상 온실은 경남 진주시 대곡면 단목리에 있는 호접란농원으로서 열환경이 적극적으로 제어되는 A 온실과 그렇지 않은 B 온실을 대상으로 하여 측정하였다. A 온실은 면적이 약 150평이고, 온습도제어가 적극적으로 되는 저온온실로서 화분화를 유도하기 위한 온실이다. 출하 때까지 약 4~5개월 있게 되며, 약 9,000주의 란이 들어가 있다. 상대습도 80±1 %에서 제습기가 제어되도록 되어 있으며, 온도는 주간에는 25±1 °C에서, 야간에는 18±1 °C에서 제어되도록 되어 있다. 제습을 위해 제습능력 5 l/h(400평용)이 설치되어 있으며, 냉방을 위해 65 RT 능력의 지열히트펌프가 설치되어 온실내의 4대의 팬코일유니트에 열교환시키고 있다. 한편, B 온실은 면적 약 1100평으로서 생육온실이며, 약 18~20개월 머문 다음 저온온실로 가게 된다. 실내에는 헴이 설치되어 외구공기가 유입되어 교반효과를 내도록 되어 있다. 천창에 환기팬이 있어서 위로 공기를 배출하고 제습기는 300평형 3대가 설치되어 75±1 %로 제어되고 있다.

다. 측정항목, 측정장치 및 측정분석방법

열환경인자로서 측정한 항목은 건구온도, 습구온도, 흑구온도, 이슬점온도, 상대습도, 조도이었으며, 열지수는 측정값을 이용하여 방정식 (1)에서 계산하였다. 측정기간은 2005년 8월 10일 오후 2시부터 8월 12일 오후 2시까지 48시간 동안 A 온실을 측정하였으며, 이후 8월 12일 오후 3시부터 8월 15일 오전 8시까지 55시간 동안 B 온실을 측정하였다. 데이터저장 간격은 15 분 간격으로 하였다. 측정장치를 일제히 같은 시각에 작동시켜 동시측정이 되도록 하였으며, 측정된 데이터는 관련소프트웨어를 통해 컴퓨터로 읽어 들여 엑셀프로그램에서 데이터처리를 하였다. 측정위치는 외부의 영향을 적게 받는 안쪽 베드 사이의 통로로 하여, 측정장치들을 나무기둥에 고정하여 들여 놓았으며, 상하 위치는 하단부분은 바닥에서 10 cm, 중간위치는 바닥에서 1 m, 상단위치는 바닥에서 2 m 위치에 각각 열환경인자를 측정하기 위한 계측기들을 고정하였다. 각 항목의 측정을 위해 testo 177-H1 온습도로거, testo 177-T4 온도로거, testo 545 Luxmeter 로거, 흑구온도계와 같은 계측기를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 온도와 상대습도

냉방온실 A의 경우 외기가 약 25~33 °C 범위에서 변할 때 야간에는 약 20 °C정도로 유지되었으며, 주간에는 서서히 상승, 최고 약 30 °C까지 변화였다. 비냉방온실 B의 경우 외기온이 약 22~40 °C범위에서 변할 때 온실내 작물이 있는 M 지점의 온도는 이 외기온도와 같은 경향으로 변화하였으며, 낮에는 최고 약 9 °C정도 온실내 기온이 높았다. 외기와 온실내부의 온도차를 평균치로 살펴보면 냉방온실의 경우에는 약 -4.3 °C로서 온실내부가 낮게 나타났지만 비냉방온실의 경우 약 1.98 °C정도로 온실내부가 높게 나타났다. 비냉방온실에는 환기팬이 있고 천창으로 환기가 되고 있었지만 낮에는 최대 9.4 °C 높게 나타났다.

상대습도의 변화는 A 온실의 경우 시간에 따라 기복이 심하며 대체적으로 60 % 이상으로 유지되는 시간이 많았으나 야간에는 그 이하로 내려가는 경우도 있었으며, B 온실의 경우는 외기온에 따라 변하는 것을 알 수 있었다. 특히, 중간위치를 기준으로 볼 때 A 온실의 경우는 주간에는 90 %를 넘는 경우가 없었으나 B 온실의 경우 실내 주간 상대습도가 90 %를 넘는 경우가 많았다. 냉방제어온실 A는 외기건구온도와 상관계수가 그다지 높지 않았고 온실중간위치상대습도의 경우 -0.724의 상관계수값을 나타내었으며, 이는 냉동기와 제습기의 제어에 의해 변해가는 것을 알 수 있었다. 한편, 냉방제어가 되지 않는 B 온실의 경우 B 온실과 같이 외기건구온도가 올라가면 상대습도는 내려가는 것을 알 수 있으며, 온실중간위치의 상대습도일 경우 그 상관계수가 -0.961이었다.

나. 열지수

열지수의 경시별변화를 살펴보면 그림 1과 같다. 그 평균과 최대최소값은 표 1에 나타난 바와 같다. 온실 A와 B의 중간위치에서의 열지수 평균, 표준편차는 표 1에 나타난 바와 같이 각각, 25.0, 3.2, 34.6, 10.6 으로서 A 온실의 경우 열지수값이 상당히 낮은 범위에서 안정되게 유지되는 반면 B 온실의 경우 높은 수준에서 크게 변동하고 있는 것을 알 수 있었다. 한편, 경시별 WBGT 및 열지수 변화는 그림 2에 나타난 바와 같다.

Table 1 Statistical values of Heat Index

Greenhouse	Value	OUTSIDE	UPPER	MIDLLE	LOWER
A	Ave	32.7	25.7	25.0	21.5
	Max	55.4	33.0	31.7	28.6
	Min	19.8	20.8	20.0	17.6
	STDEV	7.4	3.3	3.2	2.6
B	Ave	33.9	33.8	34.6	33.0
	Max	79.2	55.0	56.3	50.8
	Min	17.3	20.3	20.3	21.1
	STDEV	14.1	10.2	10.6	8.4

4. 결론

본 연구에서는 호접란 재배 그린하우스에서의 열환경을 측정하여 열지수를 계산 분석하여 온도와 습도를 함께 고려하는 열지수정보를 농업에 도입 이용하고자 하였다. 냉방이 적극적어되는 온실 A와 그렇지 않은 온실 B의 중간위치에서의 열지수 평균, 표준편차는 각각, 25.0, 3.2, 34.6, 10.6로서 A 온실의 경우 열지수값이 상당히 낮은 범위에서 안정되게 유지되는 반면 B 온실의 경우 높은 수준에서 크게 변동하고 있는 것을 알 수 있었다.

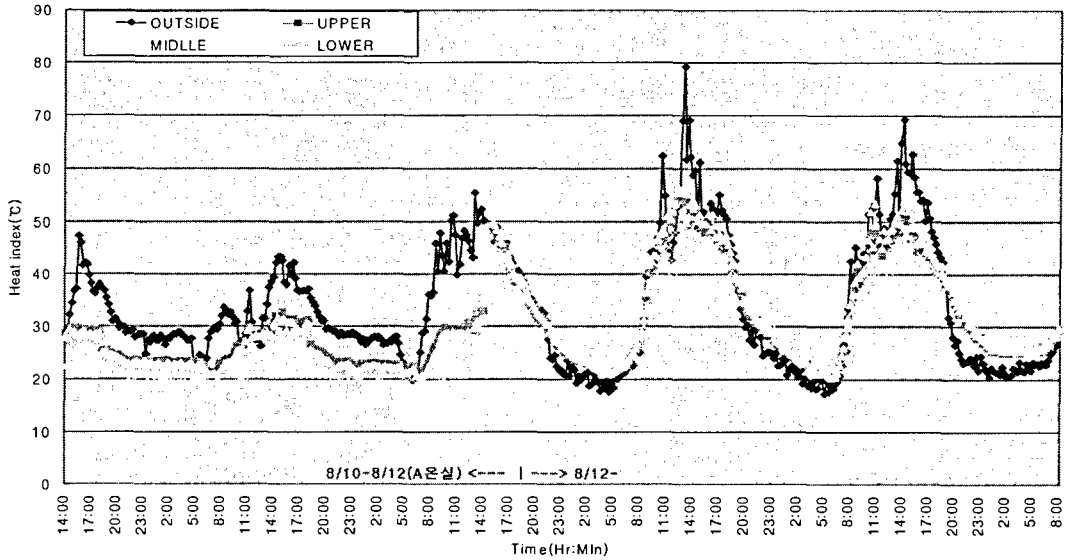


Fig.1 Heat Index history depending on time in the greenhouse and outside

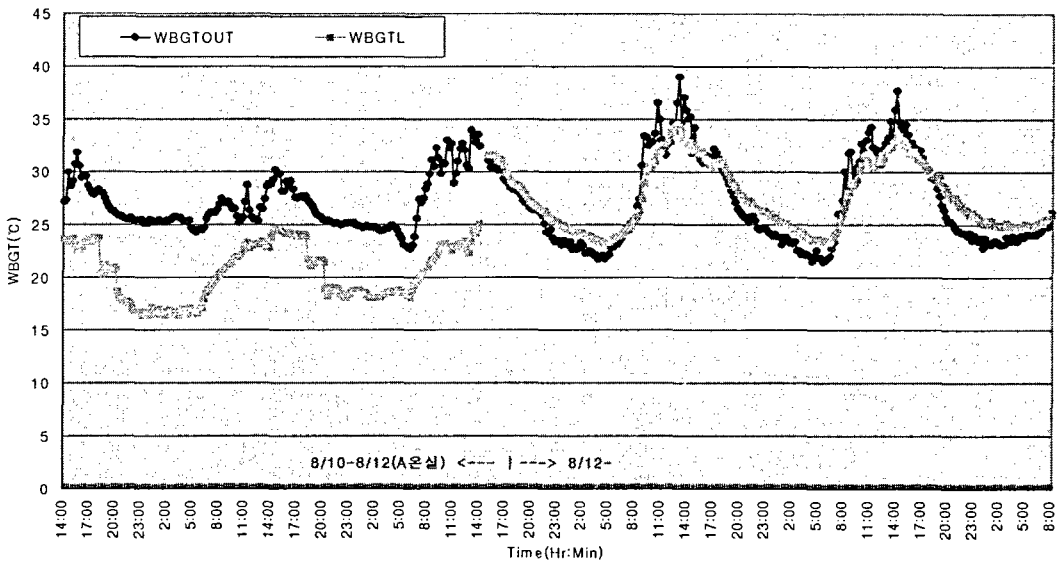


Fig.2 WBGT history depending on time in the greenhouse and outside

5. 인용문헌

1. 김영복 등. 2006. 산란계사내부 하계 열지수 분석. 한국농업기계학회 2006년 동계 학술대회 논문집 Vol. 11, No. 1, pp. 294-297.
2. SRH. 2005. 미국 기상청 남부지역본부 홈페이지. National Weather Service Southern Region Headquarters(<http://www.srh.noaa.gov/bmx/tables/hindex.html>)
3. NWS. 2005. 미국 기상청 홈페이지(<http://www.nws.noaa.gov/>)