국내 온실재배의 적지성 분석을 위한 Climagraph의 작성과 이용

Design and Utilization of Climagraph for Analysis of Regional Suitability of Greenhouse Cropping in Korea

*이현우 · 이석건 · 이종원(경북대)

Abstract

We constructed climagraphs for 16 regions of Korea by using the average monthly minimum air temperature, maximum air temperature and global radiation. We characterized the outside climate requirements corresponding to the climate requirements of crops in greenhouses.

The climagraphs allow to decide the appropriate climate periods for greenhouse cultivation without heating and cooling equipment. These graphs may be used for analyzing climatic characteristic of a given area, selecting the suitable region and greenhouse and making a rational plan for greenhouse cropping in Korea. We found difficulty in deciding the beginning and end of greenhouse heating and cooling period due to insufficient references.

I. 서 론

기온, 일사량, 풍속 등 온실내부의 온도와 일사환경에 영향을 주는 인자들의 크기는 지역별로 상당한 차이가 있다. 따라서 온실에서 재배되는 작물에 최적의 환경을 제공하기 위해서는 우선 온실 외부의 기상조건에 따른 온실내부의 환경변화를 구명해야 함은 물론이고 지역별로 외부기상의 변화를 명확히 분석하여 온실재배를 위한 기상환경 특성을 구명할 필요가 있다. 외부기상조건의 변화에 따른 온실내부의 생육환경 변화에 관해서는 지금까지 많은 연구가 수행 되었을 뿐만 아니라 진행중에 있다. 외부일사와 기온의 변화에 따른 온실내부의 환경변화에 관한 최근의 연구로는 여름철 유리온실의 목표온도 유지를 위한 강제환기 회수 선정(Woo et al., 1995), 유리온실내의 일사투과율 변화(Kim et al., 1999), 온실의 고온극복 방법별 열환경 분석(Nam, 2000), 환기조건 및 관수에 따른 플라스틱하우스의 열환경 분석(Choi et al., 2000) 등 많은 논문들을 찾아 볼 수 있었던 반면에 일사, 온도, 풍속 등 외부기상요인들의 상호 복합적인 변화에 관한 연구 결과는 찾아보기 어려웠다.

자연적인 방법에 의하여 환경조절이 불가능한 경우 환경조절 설비를 이용한 인위적인 환경조절 방법을 사용하여야 하고 결국 이로 인한 추가적인 경비가 소요된다. 따라서 이러한 추가경비를 줄일 수 있는 지역이 온실작물의 재배를 위한 적지가 될 것이며, 적지성을 판정하기 위해서는 적절한 분석 도구가 필요하다. 이러한 적지성을 판정하는 도구는 지역별로 재배작물의 종류에 따른 냉방 및 난방 소요기간, 일사조건 등을 동시에 분석할 수 있는 방법을 개발하므로서 얻을 수 있을 것이다.

본 연구는 온실재배를 위한 지역별 기후특성 분석, 각종의 온실작물을 재배하기에 적절한 지역의 선정, 온실재배의 효율적인 관리 등에 필요한 도구를 제공할 목적으로 우리나라 주요지역에 대하여 일최저기온의 월평균값, 일최고기온의 월평균값, 전천일사량의 월평균값을 사용하여 외기온과 전천일사량과의 관계를 도시하고, 온실의 형태와 재배작물에 따른 한계 최저외기온 및 한계최고외기온을 산정하여 Climagraph를 작성하였다.

II. 재료 및 방법

1. Climagraph의 작성 방법

각 지역별로 월평균 최저기온, 월평균 최고기온, 월평균 전천일사량의 기상자료를 이용하여 외기온과 전천일사량의 관계를 도시하고, 온실의 형태와 작물의 생육한계온도를 고려하여 온실작물의 생육에 필요한 한계 외기온을 계산하고 표시하여 Climagraph를 작성한다. 한계 외기온의 산정방법은 다음과 같다.

1) 한계 최저외기온

외기온이 낮은 겨울철의 주간에는 일사에 의해 온실내부의 온도가 상승하고 이러한 상승효과에 의해 야간의 온실내부의 온도는 외기온보다 높은 온도에서 유지된다. Lee et al. (1995)은 대구지역에서 1월 중 야간의 외기온이 -6.5℃~0.0℃범위일 때 플라스틱 하우스의 내기온은 -2.5℃~4.9℃범위

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월12일)

로서 평균 3.4℃ 차이가 나타난 것으로 보고하였다. 또한, Lee et al. (2000)은 대구지역에서 3월 중 야간의 외기온이 -1.8℃~9.8℃범위에서 변화할 때 단동 유리온실의 내기온은 1.1℃~13.5℃범위로서 평균 3.5℃의 차이가 있는 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 작물를 재배하기 위한 온실난방을 시작하는 시기를 결정하기 위하여 외기온이 비교적 낮을 때 야간의 온실내부온도와 외기온의 차를 평균 3.5℃로 택하였으며, 다음 식을 이용하여 작물의 생육을 위한 한계 최저외기온(T_{min}, ℃)을 산정하였다.

$$T_{min} = \text{작물의 생육최저한계기온} - 3.5 \quad (1)$$

2) 자연환기만을 고려했을 때의 한계 최고외기온

온실작물의 생육을 위한 한계 최고외기온(T_{max}, ℃)은 다음 식을 이용하여 산정하였다.

$$T_{max} = \text{작물의 생육최고한계기온} - \Delta T \quad (2)$$

여기서, ΔT : 온실내부와 외부의 온도차(℃)이다.

자연환기만을 고려했을 때의 온실외부와 내부의 온도차는 다음의 식을 사용하여 계산하였다 (Keum and Kim, 1993; Kittas, 1995).

$$\Delta T = \frac{0.31 K_{max}}{R} \quad (3)$$

$$K_{max} = 1130 \, (\sinh_{max})^{1.15} \quad (4)$$

$$\sinh_{max} = \sin\Phi \sin\delta + \cos\Phi \cos\delta \quad (5)$$

$$\delta = 23.45^{\circ} \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (6)$$

여기서, R : 환기회수(회 · h^{-1}), K_{max} : 청명한 날 정오의 전천일사량($W \cdot m^{-2}$), h_{max} : 정오의 태양고도(°), Φ : 위도(°), δ : 적위(°), n : 통산일(1~365)이다.

2. Climagraph의 적용

1) 기상자료

1997년도 기상월보자료를 이용하여 우리나라 16개 지역에 대한 Climagraph를 작성하였다.

2) 적용 온실 및 작물

기존의 자료를 이용하여 환기회수의 계산이 가능한 여러 가지 온실 형태 중 단동 플라스틱하우스와 2연동 유리온실에 대해서만 Climagraph를 작성하였다. 온실에는 오이를 재배하는 것으로 가정하였으며, Table 1은 오이의 생육적온과 한계온도를 나타낸 것이다(Kwon, 1993). 이 값을 기준으로 각 지역별로 온실에서의 오이재배를 위한 한계 최고외기온과 한계 최저외기온을 산정하였다.

Table 1. Optimum and limit temperatures for growth and development of cucumber.

Minimum limit temperature(℃)	Optimum temperature(℃)	Maximum limit temperature(℃)
8	23~28	35

3) 한계 최저외부일사량

고온성 작물의 온실재배에 필요한 일일 평균 외부일사량은 200 $W \cdot m^{-2}$ 정도인 것으로 알려져 있다(Kittas, 1995). 일조시간이 가장 짧은 12월에 16개 주요지역에 대한 일조시간은 9.63~9.93 h 범위였으며(Korea Astronomy Observatory, 1999), 전천일사량으로 환산한 결과 6.94~7.15 $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 범위였다. 따라서, 본 연구에서는 평균값인 약 7.0 $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$를 한계최저외부일사량으로 택하였다.

4) 한계 최저외기온

식 (1)을 이용하여 온실에서의 오이재배를 위한 한계 최저외기온을 산정한 결과 4.5℃였다.

5) 한계 최고외기온

온실에서의 오이재배를 위한 한계최고외기온을 식 (2)를 이용하여 계산하였다. 계산에 필요한 자연환기의 회수는 온실종류와 풍속에 따라 달라지기 때문에 풍속과 각종 온실의 최대가능 환기회수와의 상관관계(Japan Greenhouse Horticulture Association, 1994)를 이용하여 플라스틱하우스와 2연동 유리온실에 대한 환기회수를 산정하였다. 이때 풍속은 월평균 풍속을 사용하였으며, 다음 식을 이용하여 지상 3m 높이에서의 풍속을 계산하여 이용하였다(Lee, 1995).

$$V = V_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

여기서, V : 높이 h(m)에서의 풍속(m · s^{-1}), V_0: 높이 h_0(m)에서의 풍속(기준풍속)(m · s^{-1})이다.

자연환기를 이용하여 온실재배가 가능한 시기를 5월, 6월, 9월 및 10월로 추정하여 각 지역별로 청명한 날 정오의 전천일사량(K_{max})과 온실형태별 최대가능 환기회수(R)를 산정 하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 부산지역은 높은 풍속으로 인해 봄과 가을에는 자연환기회수가 온실내부온도를 생육최고한계기온 이하로 유지할 수 있는 것으로 나타나 본 연구에서는 외기온이 더 높은 7월과 8월에 대한 환기성능을 분석하였다.

Table 2. Number of air exchanges and highest value of global radiation.

Regions	Number of air exchanges(R, 1/h)								Highest of global radiation(K_{max}, W · m^{-2})			
	Plastic greenhouse				Two span glass house							
	May.	Jun.	Sep.	Oct.	May.	Jun.	Sep.	Oct.	May.	Jun.	Sep.	Oct.
Suwon	36	32	33	36	30	26	28	30	1,061	1,090	945	708
Chongju	47	37	42	41	40	31	35	34	1,065	1,093	951	717
Taegu	40	32	37	38	33	26	31	32	1,070	1,097	959	728
Pusan	62(Jul.)		61(Aug.)		53(Jul.)		52(Aug.)		1,088(Jul.)		1,028(Aug.)	
Chinju	43	36	36	34	36	30	30	29	1,087	1,109	987	770

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 플라스틱하우스에서 오이를 재배할 경우에 대한 지역별 Climagraph로서 —●—기호는 월평균 최저외기온과 월평균 전천일사량의 관계를 도시한 것으로 난방기간을 결정하는 데 이용할 수 있으며, —○—기호는 월평균 최고기온과 월평균 전천일사량과의 관계를 도시한 것으로 냉방기간을 결정하는 데 이용할 수 있다. 오이의 생육을 위한 한계 외기온을 이용하여 그림상의 면적을 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ의 4개의 영역으로 나누었으며, Ⅰ영역은 난방이 절대로 필요한 저온기, Ⅱ영역은 난방이 그다지 필요가 없는 저온기, Ⅲ영역은 자연환기로 온도조절이 가능한 고온기, Ⅳ영역은 보조의 냉방장치가 필요한 고온기에 해당한다.

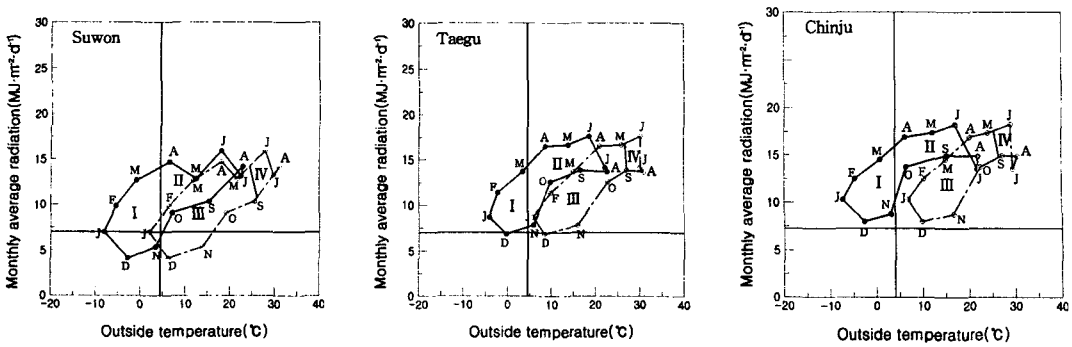
그림에서 보는 바와 같이 일사량의 월별 변화의 경향은 지역적으로 다소 차이는 있지만 전반적으로 12월에 일사량이 가장 적고 점점 증가하여 6월경에 가장 크며 7월과 8월에는 우기인 관계로 일사량은 감소하나 8월에 기온이 최고치가 된다는 것을 알 수 있다. 이 그림을 이용하면 지역별 일정시기에서의 일사량, 최고기온 및 최저기온은 물론 이들의 계절적인 변화를 쉽게 알 수 있다.

1년을 통하여 고온성 작물의 생육에 필요한 일사량은 대부분의 지역에서 거의 확보되는 것으로 분석되었으나 수원을 비롯한 몇 개 지역에서 겨울철에 일사량이 다소 부족한 것으로 나타났다.

작물의 재배와 관련하여 촉성재배는 일사량을 증가시키고 기온을 상승시키므로서 생육조절이 가능하며, 억제재배에서는 일사량과 온도를 저하시키므로서 가능하다. 이 경우 Climagraph를 이용하여 온실작물의 광합성이나 증산작용에 필요한 일사에너지와 기온의 계절적인 변화와 생육환경의 적합성 여부 등을 구명하므로서 작물의 생육환경을 조절하는데 이용할 수 있을 것이다. 즉 이 그림을 이용하여 어떤 시기에 있어서 온실내 작물의 생육상태를 추정할 수 있고 계절별 재배관리나 년간 재배계획을 세울 수 있을 것이다.

오이재배를 위한 플라스틱하우스와 2연동 유리온실에 있어 난방과 냉방이 필요한 경계시기를 Climagraph를 이용하여 결정하였다. 한 예로서, 춘천지역에 오이를 재배할 경우 인위적인 난방이 필요한 기간은 10월 중순부터 4월 중순까지이며, 강제환기, 차광 및 증발냉각설비 등을 이용한 냉방이 필요한 시기는 플라스틱하우스인 경우에 5월 하순부터 9월 초순이고 2연동 유리온실인 경우에 5월 하순부터 9월 하순인 것으로 나타났다. 결국 플라스틱하우스에서 자연환기를 이용하여 재배가 가능한 시기는 4월 중순부터 5월 하순과 9월 초순부터 10월 중순까지임을 알 수 있다. 따라서, 이 그래프를 이용하면 지역별로 냉난방설비를 이용하지 않고 온실재배가 가능한 기간을 결정할 수 있을 뿐만 아니라 각종의 온실재배작물을 재배하기에 적절한 지역을 선정하는데 이용될 수 있고, 지역별 기후특성 분석, 지역별 온실특성의 규명, 온실작물생산의 합리적인 계획을 위한 도구로도 이용될 수 있을 것이다.

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월12일)



—●— : the average monthly minimum air temperature versus the corresponding global radiation

—○— : the average monthly maximum air temperature versus the corresponding global radiation

Fig. 1. Climagraphs for cucumber cultivation in plastic greenhouse.

참고문헌

1. Choi, D.H., J.C. Huh, J.H. Lim, and H.D. Suh. 2000. Analysis of indoor thermal environment and cooling effects by ventilation condition, and spray irrigation or nonspray of single span plastic greenhouses(in Korean). J. Bio-Environment Control 9(1) : 27-39.
2. Japan Greenhouse Horticulture Association. 1994. Handbook of greenhouse horticulture(in Japanese). Japan Greenhouse Horticulture Association. p. 218-219.
3. Keum, J.S. and S.W. Kim. 1993. Calculation method for air conditioning(in Korean). Kimundang Pub., Seoul, Korea. p.62-80.
4. Kim, Y.H. and S.G. Lee. 1999. Effects of frame ratio and length on the transmissivity of solar radiation in glasshouse by a computer simulation(in Korean). J. Bio-Environment Control 8(3) : 202-208.
5. Kittas C. 1995. A simple climagraph for characterizing regional suitability for greenhouse cropping in Greece. Agricultural and Forest Meteorology 78 : 133-141.
6. Korea Astronomy Observatory. 1999. The Korean almanac for the year(in Korean). Namsandang Pub., Seoul. p.35-75.
7. Kwon, Y.S. 1993. Symposium for development of greenhouse horticulture industry in Korean. The Research Institute of Agricultural Evolution of SNU, Korea. p. 67
8. Lee, S.G., J.W. Lee, and H.W. Lee. 1995. A study on the double-wall greenhouse filled with styrene pellets(in Korean). J. Bio-Environment Control 4(1) : 59-67.
9. Lee, S.G., J.W. Lee, H.W. Lee, and G.D. Kim. 2000. Inside air temperature and humidity variation of solar-heated greenhouse(in Korean). Proceeding of Bio-Environment Control 9(1) : 38-41.
10. Lee, S.K. et al. 1995. Greenhouse construction standards(in Korean). Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation. p. 35.
11. Nam, S.W. 2000. Actual utilization and thermal environment of greenhouses according to several cooling methods during summer season(in Korean). J. Bio-Environment Control 9(1) : 1-10.
12. Woo, Y.H., J.M. Lee, and Y.I. Nam. 1995. Forced ventilation number of air changes to set point of inside air temperature in summer glasshouse(in Korean). J. Bio-Environment Control 4(2) : 223-231.

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월12일)