Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 27, No. 3:269-275, July (2018)
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2018.27.3.269
pISSN 2288-0992
eISSN 2288-100X

연간 백분위 방식에 의한 온실 냉난방 설계기온의 분석

남상운* · 신현호
충남대학교 지역환경토목학과

Analysis of Outdoor Design Temperatures for Heating and Cooling Greenhouses Based on Annual Percentiles

Sang-Woon Nam* and Hyun-Ho Shin

Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Abstract. In order to establish the criterion for analyzing outdoor weather conditions in the greenhouse heating and cooling system design, we analyzed heating and cooling design outdoor temperatures by the annual percentile method and compared with design outdoor temperatures by the existing seasonal percentile method. In the annual percentile method, 0.4%, 1% and 2% of the total 8,760 hours per year are presented as cooling design outdoor temperatures and 99.6% and 99% as heating design outdoor temperatures. When the annual percentile method was adopted, heating design outdoor temperatures increased by 6.7 to 9.6% compared with the seasonal percentile method, and cooling design outdoor temperatures decreased by 0.6 to 1.1%. The maximum heating load in the same greenhouse condition decreased by 3.0 to 3.6% when the annual percentile method was adopted, but the effect on the maximum cooling load was insignificant. Therefore, it is necessary to consider the change of heating design outdoor temperatures to the annual percentile method, but it is not necessary to change the cooling design outdoor temperatures since there is little difference between the two methods.

Additional key words : design standards, outdoor climatic conditions, seasonal percentiles, summer design temperature, winter design temperature

서 론

시설재배에서 환경설비의 용량 부족은 혹한기 또는 혹서기에 작물의 생육에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 설비용량의 과대설계는 설치비 면에서 비경제적일 뿐만 아니라 에너지의 효율적 이용측면에서도 불리하므로 적정 설비용량의 결정은 매우 중요하고, 따라서 기상자료의 선택은 매우 신중을 기하여야 한다. 온실의 냉난방 시스템 설계 시, 미국은 ASHRAE(미국공조학회)의 TAC (Technical Advisory Committee) 2.5%(냉방), 99%(난방)의 설계기온을 적용하고 있으며(Lindley와 Whitaker, 1996; ASABE, 2008), 일본은 10년 빈도의 설계기온을 적용하고 있다(JGHA, 2007).

우리나라는 명확한 기준 없이 위험률별(1, 2.5, 5, 10%) 설계기온을 적용해 오다가(Kim 등, 1997), 최근 ASHRAE의 TAC방법으로 분석한 설계용 외부기상조건이 제공되고 있다(NAAS, 2015; Nam과 Shin, 2016). 미국농공학회에서 기준으로 채택하고 있는 TAC 방식(ASABE, 2008)과 국내에서 적용하고 있는 방식(NAAS, 2015; Nam과 Shin, 2016)은 동일한 분석 방법을 사용하고 있다. 난방 설계기온은 12월에서 2월까지 1년 기준 총 2,160시간의 백분위수 99%, 97.5%를 기준으로 분석된 자료이며 일반적으로 99% (위험률 1%)의 값을 난방 설계에 적용한다. 냉방 설계기온은 6월에서 9월까지 1년 기준 총 2,928시간의 백분위수 1%, 2.5%, 5%를 기준으로 분석된 자료이며 일반적으로 2.5%의 값을 냉방설계에 적용해 왔다(Spitler, 2010; SAREK, 2011).

한편, ASHRAE(2013)에 의하면 설계용 기상조건이 계절별 백분위수 1%, 2.5%, 5%(냉방), 97.5%, 99%(난방)에서 1년 총 8,760시간의 백분위수로 냉방은 0.4%, 1%, 2%, 난방은 99.6%, 99%를 사용하는 것으로 개정되었으며, 미국농공학회(ASABE)에서도 온실의 냉난방 설계기준 개정을 위한 논의가 진행되고 있는 것으로 전해지고 있다. 최근 우리나라 기후변화를 살펴보면 10월까지도 늦더위가 발생하고, 11월에는 조기 한파가 찾아오는 등 전형적인 계절 변화에 이상이 감지되고 있다. 따라서 냉난방 설계용 기상자료를 하절기 6, 7, 8, 9월, 동절기

*Corresponding author: swnam@cnu.ac.kr
Received June 18, 2018; Revised July 5, 2018;
Accepted July 5, 2018

12, 1, 2월로 설정한 계절별 자료 분석에 의한 위험률별 설계기준 작성 방법에 대한 검토가 필요하다.

또한 기후변화로 인하여 최근 여름철 폭염이나 겨울철 한파 또는 이상고온 현상이 자주 발생하고 있으므로 주기적인 설계용 기상자료의 분석이 필요하고, 최소한 10년 주기로 설계기준을 개정할 필요가 있는 것으로 생각된다. 앞선 연구(NAAS, 2015; Nam과 Shin, 2016)에서는 현재 기후평년값 기준인 1981년부터 2010년까지의 기상자료를 분석하였으나 이 기준이 1991년부터 2020년까지로 바뀌는 2021년 이후에는 즉시 이 기간의 기상자료를 분석하여 새로운 설계기준으로 제공해야 할 것이다. 이를 위해서는 설계용 기상자료 분석 기준이 정립되어야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 온실 냉난방시스템 설계용 외부 기상조건의 분석 기준을 설정하기 위하여 ASHRAE의 연간 백분위 방식에 의한 냉난방 설계기온을 분석하고, 기존의 계절 백분위 방식에 의한 설계기온과 비교 검토하여 개선방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

기상청으로부터 국내 기상관측소 전체 78개 지점의 기상자료를 수집하였다. 현재 기후평년값 기준인 1981~2010년까지의 30년간 매 시각 기상자료를 사용하여 분석하였다(KMA, 2013). Nam과 Shin(2016)의 계절별 백분위 방식과 직접 비교하기 위하여 동일한 기상자료를 사용하였으며, 1999년 이전 자료 중 일부지역의 온습도는 3시간 간격으로 제공되므로 이들은 스프라인 보간법으로 시각별 온습도를 추정하여 사용하였다.

설계용 기상조건은 표준기상데이터를 이용하여 구하는 것이 합리적이지만, 국내에는 7개 지역만 표준기상데이터가 제공되고 있어 국내 전 지역을 대상으로 설계 자료를 작성하는 것이 불가능하다(KSES, 2013). Nam 등(2014)은 표준기상데이터가 제공되는 7개 지역을 대상으로 분석한 결과 30년간의 기상자료를 이용하여 구한 평균값이 표준기상데이터로 구한 결과와 잘 일치하는 것으로 보고하였으며, 또한 Nam과 Shin(2016)도 30년간의 전체 기상자료를 이용하여 설계용 기상조건을 구하고, 전체 자료기간의 평균값을 설계기준으로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서도 동일한 방법으로 30년간의 전체 기상자료를 이용하여 설계용 기상조건을 구하고, 전체 자료기간의 평균값을 분석에 사용하였다.

본 연구에서는 미국공조학회에서 기준으로 채택하고 있는 연간 백분위 방식을 설계용 기상조건의 분석방법으로 설정하였다. 연간 백분위 방식은 1년 기준 총 8,760시간의 백분위수 0.4%, 1%, 2%를 냉방 설계기온으로, 99.6%, 99%를 난방 설계기온으로 사용하는 것이다(ASHRAE, 2013).

기존의 계절별 백분위 방식에서 냉방 설계기온은 하절기 백분위수 1%, 2.5%, 5%를 사용하였으나 연간 백분위 방식에서는 0.4%, 1%, 2%를 사용하므로 이들을 직접 비교하였다. 또한 난방 설계기온은 동절기 백분위수 99%, 97.5%를 사용하였으나 연간 백분위수 99.6%, 99%를 사용하므로 이들도 직접 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 난방설계용 외기온

연간 백분위 방식으로 분석한 온실의 난방 설계 외기온은 Table 1과 같다. 온실의 난방설계 기준은 연간 백분위수 99.6%의 외기온을 사용할 것을 추천하고 있으나, 온실의 투자수준이나 재배 작물의 부가가치에 따라 연간 백분위수 99%의 값을 사용할 수도 있을 것으로 판단된

Table 1. Design outdoor temperatures for greenhouse heating by annual percentiles. (unit; °C)

Regions	Annual percentiles		Data period
	99.6%	99%	
Cheorwon	-16.8	-14.7	1988-2010
Chuncheon	-14.7	-12.7	1981-2010
Gangneung	-7.9	-6.1	1981-2010
Seoul	-11.1	-9.4	1981-2010
Incheon	-10.1	-8.5	1981-2010
Wonju	-14.4	-12.4	1981-2010
Suwon	-11.7	-10.0	1981-2010
Chungju	-13.5	-11.6	1981-2010
Seosan	-10.0	-8.4	1981-2010
Cheongju	-11.3	-9.5	1981-2010
Daejeon	-10.2	-8.4	1981-2010
Andong	-11.3	-9.5	1982-2010
Pohang	-6.3	-4.7	1981-2010
Gunsan	-7.4	-5.9	1981-2010
Daegu	-7.2	-5.6	1981-2010
Jeonju	-8.6	-7.1	1981-2010
Ulsan	-6.0	-4.5	1981-2010
Changwon	-4.9	-3.3	1985-2010
Gwangju	-6.6	-5.1	1981-2010
Busan	-5.2	-3.6	1981-2010
Yeosu	-4.8	-3.4	1981-2010
Jeju	0.4	1.3	1981-2010

Table 1. Continued.

Regions	Annual percentiles		Data period
	99.6%	99%	
Seogwipo	0.2	1.3	1981-2010
Jinju	-8.7	-7.3	1981-2010
Yangpyeong	-14.6	-12.5	1981-2010
Icheon	-13.2	-11.2	1981-2010
Inje	-15.8	-13.8	1981-2010
Hongcheon	-16.6	-14.5	1981-2010
Jecheon	-15.5	-13.6	1981-2010
Cheonan	-12.1	-10.1	1981-2010
Boryeong	-8.4	-6.9	1981-2010
Buyeo	-10.6	-8.8	1981-2010
Geumsan	-12.1	-10.3	1981-2010
Buan	-8.5	-6.6	1981-2010
Imsil	-12.8	-10.7	1981-2010
Jeongeup	-8.2	-6.6	1981-2010
Namwon	-10.6	-8.8	1981-2010
Jangsu	-12.9	-10.8	1988-2010
Suncheon	-8.6	-7.1	1981-2010
Haenam	-6.0	-4.6	1981-2010
Goheung	-6.4	-5.0	1981-2010
Bonghwa	-14.6	-12.6	1988-2010
Mungyeong	-10.2	-8.6	1981-2010
Yeongdeok	-7.5	-5.8	1981-2010
Uiseong	-14.0	-12.2	1981-2010
Gumi	-9.0	-7.5	1981-2010
Geochang	-10.6	-9.0	1981-2010
Hapcheon	-9.2	-7.7	1981-2010
Miryang	-8.3	-6.9	1981-2010
Sancheong	-7.9	-6.4	1981-2010

다. 본 연구에서는 기상관측소가 있는 국내 78개 지역의 기상자료를 모두 분석하였으나 여기서는 지면관계상 시설원예 면적이 많은 순으로 50개 지역만 표시하였다.

연간 백분위수 99.6%의 난방설계 외기온을 살펴보면 제주가 0.4ºC로 가장 높고, 철원이 -16.8ºC로 가장 낮았다. 연간 백분위수 99%의 난방설계 외기온은 99.6%에 비하여 0.9~2.1ºC(평균 1.7ºC) 높은 것으로 나타났다. 온실의 규모와 자재 특성이 동일한 것으로 가정하면 최대난방부하는 실내외 기온차에 비례한다(Shin과 Nam, 2015). 난방 설정온도를 16ºC로 한 경우의 최대난방부하를 비교해 보면, 연간 백분위수 99.6%에서 철원은 제주에 비하여 최대난방부하가 2.1배 큰 것으로 나타났다. 연간 백분위수 99%의 설계 외기온을 채택할 경우 99.6%에 비하여 최대난방부하는 평균 6.2% 줄어드는 것으로 나타났다.

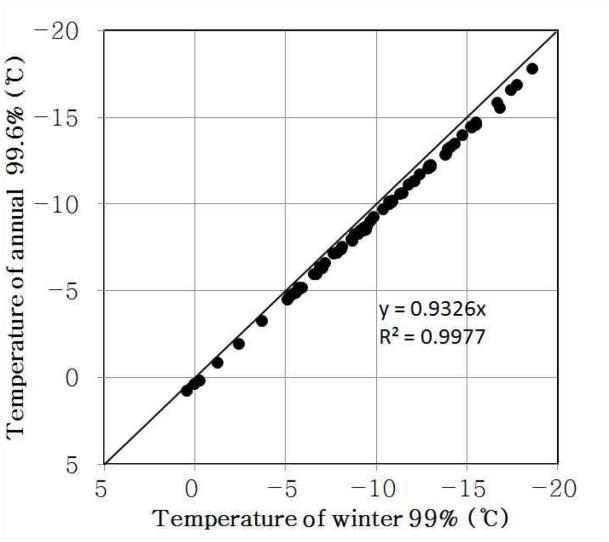

Fig. 1. Comparison of design outdoor temperature of annual 99.6% and winter 99% for greenhouse heating.

Fig. 1과 Fig. 2 및 Table 2는 연간 백분위 방식과 계절 백분위 방식으로 분석한 난방설계 외기온을 비교하여 나타낸 것이다. 연간 백분위수 99.6%의 설계 외기온과 겨울철 백분위수 99%의 설계 외기온을 비교하면 Fig. 1에서와 같이 온도가 낮을수록 편차가 커지는 것을 볼 수 있으며, Table 2에서와 같이 연간 백분위수 99.6%의 값이 0.4~1.3ºC(평균 0.8ºC) 높은 것으로 나타났다. 연간 백분위수 99.6%의 값을 사용할 경우 겨울철 백분위수 99%에 비하여 난방설계 외기온은 6.7% 상승하는 것으로 분석되었다. 앞에서와 동일한 방법으로 온실의 최대난방부하를 비교해 보면 연간 백분위수 99.6%의 값을 사용할 경우 기존의 겨울철 백분위수 99%에 비하여 약 3% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

연간 백분위수 99%의 설계 외기온과 겨울철 백분위수 97.5%의 설계 외기온을 비교하면 Fig. 2에서와 같이 온도가 낮을수록 편차가 커지는 것을 볼 수 있으며, Table 2에서와 같이 연간 백분위수 99%의 값이 0.5~1.4ºC(평균 1.0ºC) 높은 것으로 나타났다. 연간 백분위수 99%의 값을 사용할 경우 겨울철 백분위수 97.5%에 비하여 난방설계 외기온은 9.6% 상승하는 것으로 분석되었다. 앞에서와 동일한 방법으로 온실의 최대난방부하를 비교해 보면 연간 백분위수 99%의 값을 사용할 경우 기존의 겨울철 백분위수 97.5%에 비하여 약 3.6% 정도 감소하

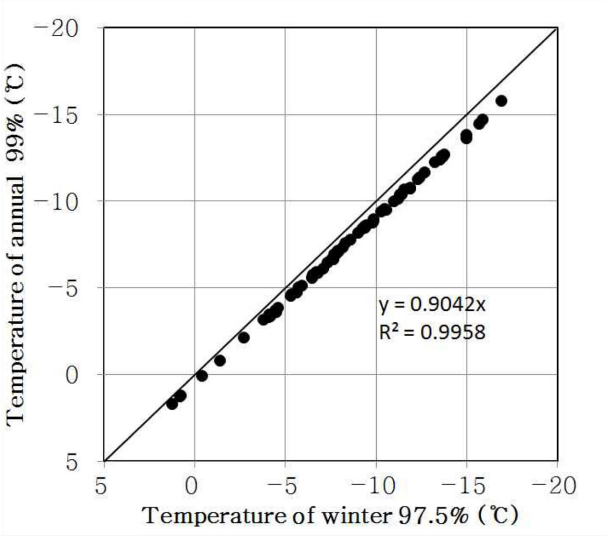

Fig. 2. Comparison of design outdoor temperature of annual 99% and winter 97.5% for greenhouse heating.

Table 2. Design outdoor temperature difference between annual percentiles and winter seasonal percentiles.

Annual-Seasonal	Temperature difference (°C)		
	Max.	Min.	Avg.
A99.6% - S99.0%	1.3	0.4	0.8
A99.0% - S97.5%	1.4	0.5	1.0

는 것으로 나타났다.

연간 백분위 방식을 채택할 경우 계절 백분위 방식에 비하여 전체적으로 난방설계 외기온은 6.7~9.6% 상승하는 것으로 나타났으며, 동일한 온실 조건에서 최대난방부하는 연간 백분위 방식을 채택할 경우 기존의 계절 백분위 방식에 비하여 약 3.0~3.6% 정도 감소하는 것으로 분석되었다.

2. 냉방설계용 외기온

연간 백분위 방식으로 분석한 온실의 냉방 설계 외기온은 Table 3과 같다. 온실의 냉방설계 기준은 연간 백분위수 1%의 외기온을 사용할 것을 추천하고 있으나 온실의 투자수준이나 재배 작물의 부가가치에 따라 연간 백분위수 0.4% 또는 2%의 값을 사용할 수도 있으므로 Table 3에 이들을 모두 정리하였다.

연간 백분위수 1%의 냉방설계 외기온을 살펴보면 대구가 32.6ºC로 가장 높고, 장수가 28.8ºC로 가장 낮았다. 연간 백분위수 0.4%의 냉방설계 외기온은 1%에 비하여 0.7~1.4ºC(평균 1.2ºC) 높았고, 연간 백분위수 2%의 냉방설계 외기온은 1%에 비하여 0.8~1.5ºC(평균 1.2ºC)

Table 3. Design outdoor temperatures for greenhouse cooling by annual percentiles. (unit; °C)

Regions	Annual percentiles		
	0.4%	1%	2%
Cheorwon	31.0	29.8	28.7
Chuncheon	32.5	31.2	30.0
Gangneung	32.7	31.3	29.9
Seoul	31.8	30.7	29.6
Incheon	30.8	29.5	28.4
Wonju	32.2	31.0	29.9
Suwon	31.8	30.7	29.6
Chungju	32.0	30.9	29.7
Seosan	31.4	30.3	29.1
Cheongju	32.6	31.5	30.4
Daejeon	32.3	31.2	30.1
Andong	32.4	31.3	30.0
Pohang	33.4	32.0	30.5
Gunsan	31.3	30.3	29.2
Daegu	33.8	32.6	31.4
Jeonju	32.9	31.9	30.7
Ulsan	32.9	31.6	30.3
Changwon	31.9	30.8	29.8
Gwangju	32.3	31.3	30.2
Busan	30.8	29.9	28.8
Yeosu	30.2	29.3	28.3
Jeju	31.7	30.6	29.6
Seogwipo	31.0	30.3	29.5
Jinju	32.6	31.4	30.3
Yangpyeong	32.2	31.0	29.8
Icheon	32.1	30.9	29.7
Inje	31.2	29.8	28.5
Hongcheon	32.4	31.0	29.8
Jecheon	31.2	29.9	28.6
Cheonan	31.9	30.8	29.6
Boryeong	31.1	30.1	29.0
Buyeo	32.4	31.2	30.0
Geumsan	32.0	30.9	29.8
Buan	31.6	30.5	29.5
Imsil	31.3	30.1	29.0
Jeongeup	32.6	31.4	30.3
Namwon	32.4	31.3	30.2
Jangsu	29.9	28.8	27.8
Suncheon	32.5	31.3	30.1

Table 3. Continued.

Regions	Annual percentiles		
	0.4%	1%	2%
Haenam	31.0	30.1	29.1
Goheung	31.6	30.6	29.5
Bonghwa	30.9	29.6	28.4
Mungyeong	31.8	30.6	29.4
Yeongdeok	32.1	30.8	29.3
Uiseong	32.9	31.7	30.5
Gumi	32.4	31.3	30.0
Geochang	32.2	31.0	29.7
Hapcheon	33.1	31.9	30.6
Miryang	32.7	31.5	30.3
Sancheong	32.5	31.3	30.1

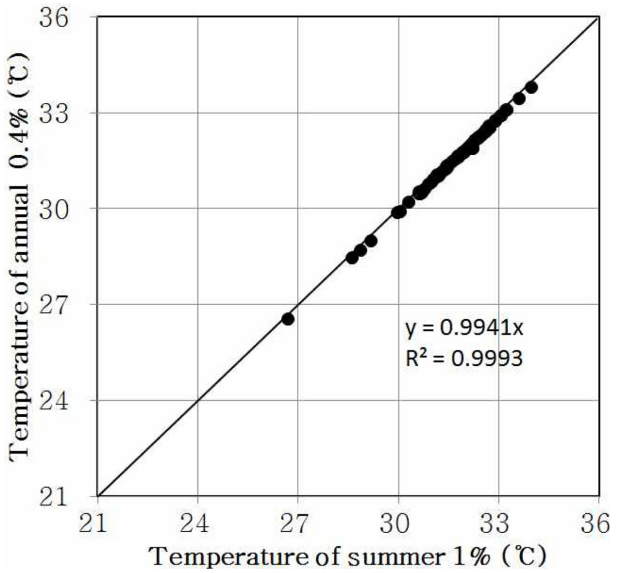

Fig. 3. Comparison of design outdoor temperature of annual 0.4% and summer 1% for greenhouse cooling.

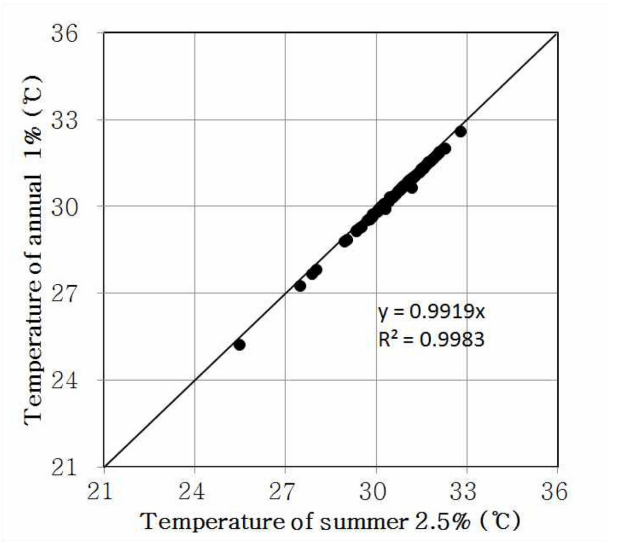

Fig. 4. Comparison of design outdoor temperature of annual 1% and summer 2.5% for greenhouse cooling.

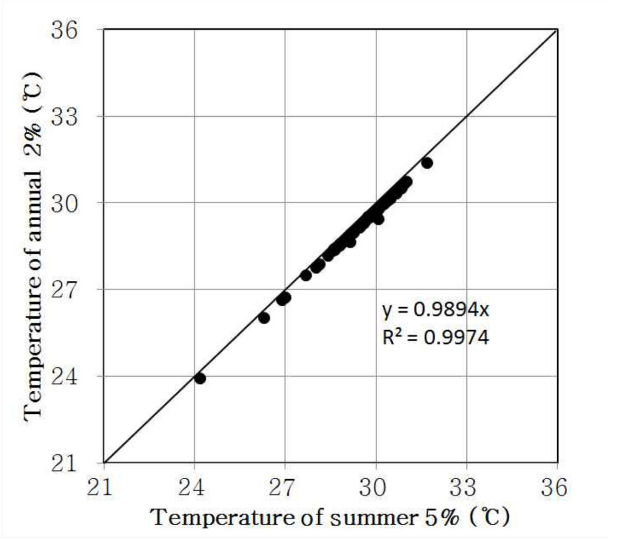

Fig. 5. Comparison of design outdoor temperature of annual 2% and summer 5% for greenhouse cooling.

낮은 것으로 나타났다.

Fig. 3에서 Fig. 5 및 Table 4는 연간 백분위 방식과 계절 백분위 방식으로 분석한 냉방설계 외기온을 비교하여 나타낸 것이다. 연간 백분위수 0.4%의 설계 외기온과 여름철 백분위수 1%의 설계 외기온을 비교하면 Fig. 3과 같이 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있으며, Table 4와 같이 연간 백분위수 0.4%의 값이 0.1~0.2°C(평균 0.2°C) 낮은 것으로 나타났다. 연간 백분위수 0.4%의 값을 사용할 경우 여름철 백분위수 1%에 비하여 냉방설계 외기온은 0.6% 하강하는 것으로 분석되었다.

연간 백분위수 1%의 설계 외기온과 여름철 백분위수 2.5%의 설계 외기온을 비교하면 Fig. 4에서와 같이 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있으며, Table 4에서와 같이 연간 백분위수 1%의 값이 0.2~0.4°C(평균 0.3°C) 낮은 것으로 나타났다. 연간 백분위수 1%의 값을 사용할 경우 여름철 백분위수 2.5%에 비하여 냉방설계 외기온은 0.8% 하강하는 것으로 분석되었다.

연간 백분위수 2%의 설계 외기온과 여름철 백분위수

Table 4. Design outdoor temperature difference between annual percentiles and summer seasonal percentiles.

Annual-Seasonal	Temperature difference (°C)		
	Max.	Min.	Avg.
A0.4% - S1.0%	-0.2	-0.1	-0.2
A1.0% - S2.5%	-0.4	-0.2	-0.3
A2.0% - S5.0%	-0.5	-0.2	-0.3

5%의 설계 외기온을 비교하면 Fig. 5와 같이 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있으며, Table 4와 같이 연간 백분위수 2%의 값이 0.2~0.5°C(평균 0.3°C) 낮은 것으로 나타났다. 연간 백분위수 2%의 값을 사용할 경우 여름철 백분위수 5%에 비하여 냉방설계 외기온은 1.1% 하강하는 것으로 분석되었다.

온실의 냉방부하는 유입 일사량에서 피복재의 관류열량, 환기전열량 및 증발산 소비열량을 빼면 된다. 증발산 소비열량은 유입 일사량의 0.5~0.6 정도이고, 관류열량과 환기전열량은 온실의 규모와 자재 특성 및 환기율이 동일한 경우 실내외 기온 차에 비례한다(Nam 등. 2015). 동일한 조건에 동일한 규모의 온실에서 최대냉방부하를 검토한 결과, 온실의 냉방부하에 미치는 영향은 외기온 보다 일사량이 훨씬 크고, 특히 차광을 하지 않을 경우에는 일사부하가 대부분을 차지하는 것으로 보고하였다(Nam과 Shin, 2016).

연간 백분위 방식을 채택할 경우 계절 백분위 방식에 비하여 전체적으로 냉방설계 외기온은 0.6~1.1% 하강하는 것으로 나타났으며, 동일한 온실 조건에서 최대냉방부하에 미치는 영향은 미미한 것으로 분석되었다.

이상을 종합하면 난방설계 외기온은 계절 백분위 방식에서 연간 백분위 방식으로의 변경에 대하여 고려할 필요가 있지만, 냉방설계 외기온은 두 방법 간의 차이가 거의 없으므로 아직까지 분석방법의 변경이 필요하지는 않은 것으로 판단된다. 전체적으로 현재의 계절 백분위 방식으로 분석한 설계 외기온을 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 생각되며, 추후 장기적으로 외기온 이외의 다른 기상요인에 대하여도 심층적인 분석과 검토를 통하여 설계기준 개정 시 반영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

적 요

온실 냉난방시스템 설계용 외부기상조건의 분석 기준을 설정하기 위하여 연간 백분위 방식에 의한 냉난방 설계기온을 분석하고, 기존의 계절 백분위 방식에 의한 설계기온과 비교 검토하였다. 우리나라 전 지역을 대상으로 현재 기상청에서 제공하는 기후평년값 기준 30년간의 매 시각 기상자료를 분석에 사용하였다. 표준기상데이터의 이용이 제한적이기 때문에 전체 기상자료를 이용하여 매년 설계용 기상조건을 구하고, 전체 자료기간의 평균값을 분석에 사용하였다. 연간 백분위 방식으로 1년 기준 총 8,760시간의 백분위수 0.4%, 1%, 2%를 냉방 설계 외기온으로, 99.6%, 99%를 난방 설계 외기온으로 제시하였다. 연간 백분위 방식을 채택할 경우 계절 백분위 방식에 비하여 전체적으로 난방설계 외기온은 6.7~9.6% 상승하는 것으로 나타났으며, 냉방설계 외기온은 0.6~1.1% 하강하는 것으로 나타났다. 동일한 온실 조건에서 최대난방부하는 연간 백분위 방식을 채택할 경우 기존의 계절 백분위 방식에 비하여 약 3.0~3.6% 정도 감소하는 것으로 나타났고, 최대냉방부하에 미치는 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 따라서 난방설계 외기온은 연간 백분위 방식으로의 변경에 대하여 고려할 필요가 있지만, 냉방설계 외기온은 두 방법 간의 차이가 거의 없으므로 아직까지 변경할 필요는 없는 것으로 판단된다. 전체적으로 현재의 계절 백분위 방식으로 분석한 설계 외기온을 사용하여도 큰 문제는 없을 것으로 생각되지만, 기후변화의 영향을 고려하여 주기적인 설계용 기상자료의 분석 및 설계기준의 개정이 필요하고, 현재의 기후평년값 기준연도가 바뀌는 2021년 이후에는 이 기간의 기상자료를 분석하여 새로운 설계기준으로 제공해야 할 것이므로, 그 때 연간 백분위 방식에 대한 전문가 그룹의 검토를 통하여 반영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

추가 주제어: 겨울설계온도, 계절백분위, 설계기준, 여름설계온도, 외부기상조건

사 사

본 연구는 2017년도 충남대학교 CNU 학술연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

ASABE. 2008. Standard: Heating, ventilating and cooling greenhouses, ANSI/ASAE EP406.4. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

ASHRAE. 2013. ASHRAE Handbook Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

JGHA. 2007. Handbook of protected horticulture 5th edition. Japan Greenhouse Horticulture Association (in Japanese).

Kim, M.K., S.G. Lee, W.M. Seo, and J.E. Son. 1997. Design

standards for greenhouse environment. Rural Development Corporation (in Korean).
KMA. 2013. Weather data(1981-2010). Korea Meteorological Administration.
KSES. 2013. Korean Standard Weather Data. The Korean Solar Energy Society.
Lindley, J.A. and J.H. Whitaker. 1996. Agricultural buildings and structures. ASAE, Michigan, USA.
NAAS. 2015. Design standards for greenhouse environment. National Academy of Agricultural Science (in Korean).
Nam, S.W., D.U. Seo, and H.H. Shin. 2015. Empirical analysis on the cooling load and evaporation efficiency of fogging system in greenhouses. Protected Horticulture and Plant Factory. 24(3):147-152 (in Korean).
Nam, S.W., H.H. Shin, and D.U. Seo. 2014. Comparative analysis of weather data for heating and cooling load calculation in greenhouse environmental design. Protected Horticulture and Plant Factory. 23(3):174-180 (in Korean).
Nam, S.W. and H.H. Shin. 2016. Analysis of the outdoor design conditions for greenhouse heating and cooling systems in Korea. Protected Horticulture and Plant Factory. 25(4): 308-319 (in Korean).
SAREK. 2011. Handbook of facilities engineering. Vol. 2 Air-conditioning. The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea (in Korean).
Shin, H.H. and S.W. Nam. 2015. Validation of load calculation method for greenhouse heating design and analysis of the influence of infiltration loss and ground heat exchange. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33(5): 647-657 (in Korean).
Spitler, J.D. 2010. Load calculation application manual. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.