

한반도의 날씨 스트레스 지수 NET (Net Effective Temperature) 분포의 특성*

허인혜** · 최영은*** · 권원태****

The Spatial and temporal distributions of NET(Net Effective Temperature) with a Function of Temperature, Humidity and Wind Speed in Korea*

Inhye Heo**, Youngeun Choi***, and Won-Tae Kwon****

요약 : 본 연구는 상대적 날씨 스트레스 지수로 NET의 적용 가능성을 파악하고자 하였다. 기상청에서 예보하고 있는 기온, 습도, 바람 자료를 이용하여 NET 값의 시공간적 분포 특성을 분석하였다. 여름철 스트레스 지수인 일 최고 NET의 지역별 스트레스 기준값은 바람과 습도보다는 기온의 영향을 받으므로 일 최고 기온의 분포와 유사하다. 겨울철 스트레스 지수인 일 최저 NET의 스트레스 기준값은 산지 지역과 서울 이북 지역에서는 낮은 기온의 영향을, 해안 지역에서는 강한 바람의 영향으로 기준값이 여름철에 비하여 다양하게 나타난다. 스트레스가 강한 날의 발생 빈도는 여름철은 뚜렷한 연변화가 나타나지 않지만, 겨울철에는 1990년대 중반 이후 뚜렷한 증가 경향을 보인다.

주요어 : 날씨 스트레스 지수, NET 지수, 일 최고 기온, 상대습도, 강한 바람

Abstract : This paper examined the possibility of NET application for a relative weather stress index in Korea. The characteristic of NET distribution used temperature, relative humidity, wind speed which forecasting at Korean Meteorological Administration were analyzed. Regional critical values of daily maximum NET of stress index for summer resembled the distribution of daily maximum temperature because were not impacted wind and humidity but temperature. Regional critical values of daily minimum NET of stress index for winter distributed variously compared with summer. The highland region and the northern region of *Seoul* were impacted of low temperature and coastal region which strong wind. The occurrences of stressful days did not vary in summer, but obviously increased in winter after mid-1990s.

Key Words : weather stress index, net effective temperature, daily maximum temperature, relative humidity, strong wind

1. 서론

기온, 습도, 강수와 같은 기후 요소는 쾌적한 자연환경을 추구하는 인간에게 다양한 영향을 미친다. 각각의 기후 요소는 직접적인 영향을 주기도 하지만, 대부분 여러 요소들이 서로 상호작용을 하며 복

합적으로 영향을 미친다. 예를 들어, “춥다”, “덥다”의 인간의 체감 정도가 기온에 의해서만 결정되지는 않는다. 즉, 여름철에 습도가 높을 때는 기온이 높지 않아도 더위를 느끼고, 겨울철의 바람이 강할 때는 기온이 낮지 않아도 추위를 느낄 수 있다. 습도가 높고 기온이 높은 대기 상태에서는 인체

* 이 연구는 기상연구소 주요사업인 “기후변화협약대응 지역기후시나리오 산출기술개발 II”의 지원으로 수행되었습니다.

** 건국대학교 지리학과 박사과정(Graduate Student, Department of Geography, Konkuk University) graceh@konkuk.ac.kr.

*** 건국대학교 지리학과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography, Konkuk University).

**** 기상청 기상연구소 기후연구실 실장(Director, Climate Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Administration).

의 복사 냉각 작용과 수분의 증발에 의한 잠열 방출이 현저하게 둔화된다. 이러한 무더운 상태에 지속적으로 노출될 경우 체내에 열에너지가 과잉 축적되어, 인체의 건강에 심한 장애를 줄 수 있어, 열사병, 열피로 등과 같은 질환이 발생하고 심할 경우 관련 환자들의 사망 가능성도 높아진다(Diaz et al., 2002). 따라서 NOAA의 NWS(National Weather Service)에서는 Steadman(1984)이 제시한 Apparent Temperature(AT)를 개량하여 높은 습도와 기온이 함께 나타날 때 위험을 감지할 수 있는 열 지수(Heat Index)를 정의하여 자료를 제공하고 있다(<http://www.crh.noaa.gov/pub/heat.htm>).

인간이 피부로 느끼는 체감 온도는 바람의 영향에 따라서도 달라진다. 외부에서 인체가 바람에 노출될 경우 바람이 강해질수록 피부의 열손실율이 커지며 결국 체온을 떨어뜨리게 된다. 윈드칠 지수(Wind Chill Index)는 Siple and Pasel(1945)과 Steadman(1971)에 의해 산출된 이후 New Wind Chill Index(http://www.crh.noaa.gov/mpx/windchill_new.html)로 수정되어 각 국가에서 대부분 사용하고 있다. 이러한 지수들은 절대적인 기상 요소의 기준 수치를 일반 성인들을 기준으로 한 것이므로, 다양한 연령대에 적용하는 것이 어렵다. 또한 특정 지역에서 실험을 통하여 기준을 선정한 것이므로 다른 물리적인 상황에 적용하는 것도 어렵다. 즉 중위도 지역의 사람들은 열대 지역의 더위가 쾌적하지 않지만, 열대 지역의 주민들은 30°C 이상의 날들도 쾌적할 수 있으므로 상대적 기준이 요구된다.

Kalkstein and Valimont(1986)는 날씨 스트레스 지수(Weather Stress Index, WSI)라는 상대적인 기후 지수의 이용 방안을 연구하였다. 이는 Apparent Temperature를 이용하여 WSI를 계산하고, 그 지역의 평균값으로부터 도출된 뚜렷한 WSI 특정 한계를 99%로 지정하여, 그 값 이상이 스트레스가 많은 것으로 정의하였다. WHO/WMO/UNEP(1996)의 연구에서도 WSI의 기준을 선정하여 수치가 95% 이상일 때부터 건강에 영향을 미친다고 하였다.

NET(Net effective temperature)는 기온과 상대습도를 포함하여 체감 정도를 나타낸 것으로 1937년 Missenard에 의해 고안(Hentschel, 1987)되었다. 이는 여름철에 주로 적용 가능 하였으나, Gregorczyk

가 바람의 효과를 포함시켜 지수를 수정(Hentschel, 1987)한 후 겨울철에도 적용 가능해지면서 대표적인 WSI로 이용되었다. Li and Chan(2000)은 홍콩의 스트레스 지수를 파악하기 위하여 NET를 이용하여 활용 가능성을 검증하였다.

국내의 생리 기후학에 관한 연구는 체감 온도에 관한 것은 불쾌 지수를 이용하여 한반도의 열 긴장도 분포를 제시한 것(이중범, 1982)과 Apparent Temperature를 이용하여 서울의 생활 쾌적도를 평가한 것(윤진일 · 봉종현, 1987) 등이 대표적이며, 최근 열 지수를 이용하여 여름철 남한 전체의 체감 무더위의 시공간적 분포 특징을 분석한 것(최광용 외, 2002)이 있다. 체감 기온을 나타내는 국내 외의 대표적인 연구들은 지역을 고려하지 않고 절대적인 기준에 의한 기온과 습도 또는 기온과 바람의 두 가지 변수들만을 이용하여 주로 특정 계절에 국한된 정보를 제공하고 있다. 열 지수는 여름철에, 윈드칠 지수는 겨울철에만 유용하므로(Kalkstein and Valimont, 1986; 1987), 기온에 가장 민감한 계절인 여름철과 겨울철에 모두 적용할 수

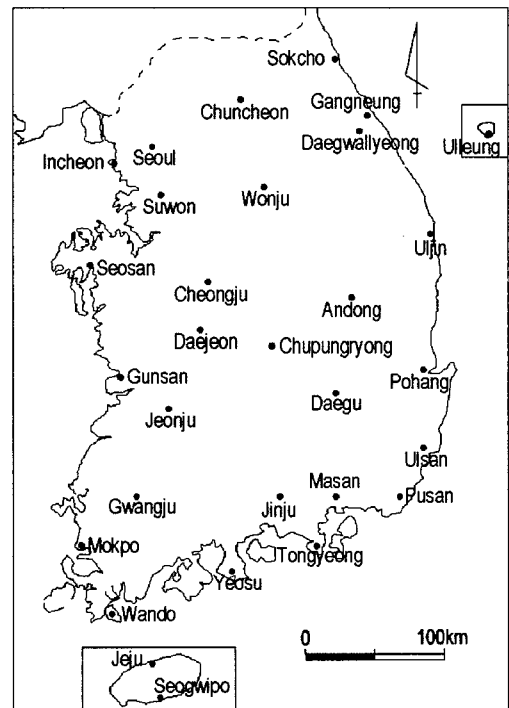


Fig. 1. The location of weather stations used for the study

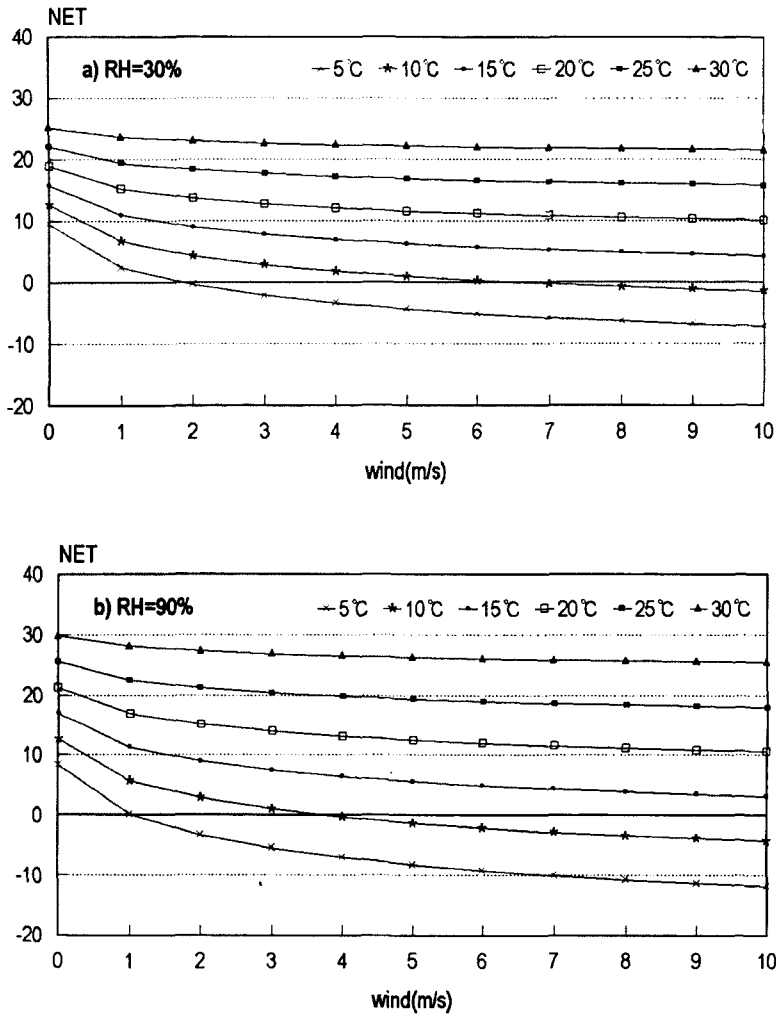


Fig. 2. Change of NET as a function of wind speed and temperature for dry conditions (RH=30%) and wet conditions (RH=90%)

있는 상대적인 지수의 필요성이 요구된다.

본 연구에서는 상대적인 날씨 스트레스 지수로써 기온, 습도, 바람에 의한 NET 지수의 한반도 적용 가능성을 분석하고, NET의 분포를 파악하고자 한다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구에서 이용한 자료는 최근 10년 (1991~2000년)간의 지상의 기상 자료와 상층 바람 자료이다. 지상의 기상 자료는 Fig. 1과 같이 30개 관측 지점¹⁾의 3시간 간격(03시, 06시, 09시, 12시,

15시, 18시, 21시, 24시)의 기온, 습도, 풍속 자료이다. 매시 기상 관측값이 1998년부터 제공되므로 일 관측 빈도가 가장 높은 3시간 간격의 기상 자료를 이용하였다. 기상관측소급의 관측 지점과 기상대급 중에서도 분석 기간 내의 모든 자료를 포함하지 않는 기상대는 제외하였다. 상층의 바람 자료는 오산, 광주, 포항의 00시와 12시 850hPa 고도면의 풍향, 풍속 자료이다.

인체가 느끼는 스트레스 정도를 파악하기 위하여 각각의 자료를 이용하여 각 지역별 기후 특성을 표현할 수 있는 상대적 스트레스 지수인 NET를 구하였다.

NET는 상대적인 날씨 스트레스 지수로 이용되고 있는 것들 중 계산과 해석이 간단하고, 여름철과 겨울철의 계절 구분 없이 적용이 가능하므로 실생활 활용에 안정적이다(Li and Chan, 2000).

NET를 구하는 식은 다음과 같다.

$$NET = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014RH + 1/(1.76 + 1.4V^{0.75})} - 0.29T(1 - 0.01RH)$$

T: 기온(°C), V: 풍속(m/s), RH: 상대습도(%)

Fig. 2는 상대습도 30%를 건조한 경우, 상대습도 90%를 습한 경우로 구분하여 바람과 기온에 의해 변하는 NET 값을 나타낸 것이다. 기온이 낮고 바

람이 강할수록 NET 값의 변화폭이 크다. 특히, 상대습도가 높아서 습한 경우가 건조할 때보다 변화폭이 더 크다. 즉 사람들은 기온이 높은 여름철에는 상대습도가 높고 바람이 없는 경우 스트레스를 강하게 받고, 겨울철에는 상대습도가 높고 바람이 강하게 불 때 스트레스를 받는 확률이 더 커진다.

스트레스 지수로서 NET의 한반도 적용 가능성을 파악하기 위하여 내륙과 해양을 대표할 수 있는 서울과 제주 지역의 NET 값의 특성을 살펴보았다. 일 최고 NET와 일 최저 NET의 월별 분포를 분석하여 스트레스를 강하게 받는 시기를 각각에 의하여 여름철(6~8월)과 겨울철²⁾(11~3월)로 구분하여, 일 최고 NET는 여름철의 스트레스 지수의 기준값을 선정할 때 이용하고 일 최저 NET는

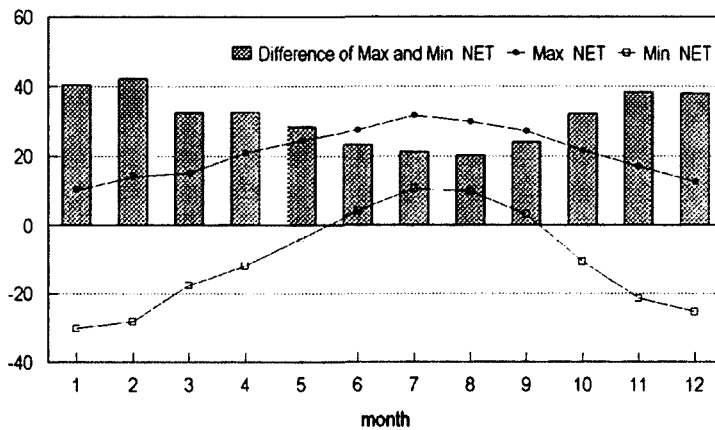


Fig. 3. Monthly distribution of absolute daily maximum NET and daily minimum NET in *Seoul* (1991~2000)

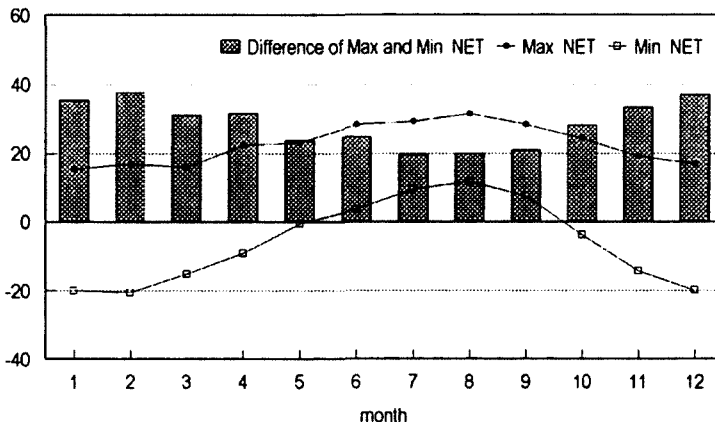


Fig. 4. The same as Fig. 3 except for *Jeju*

겨울철의 스트레스 지수의 기준값에 적용하였다.

지역별 스트레스 지수의 기준값의 특성을 설명하기 위하여 스트레스가 강한 날들의 기온, 풍속, 습도의 평균과 상층의 주 풍향을 분석하여 비교하였다.

3. NET의 적용 가능성

서울과 제주의 일 최고 NET와 일 최저 NET의 월별 극값을 이용하여 날씨 스트레스가 가장 심한 날의 분포를 살펴보았다(Fig. 3과 Fig. 4). 두 지역 모두 일 최고 NET 월별 극값에 비하여 일 최저 NET 월별 극값의 변화가 크고, 두 극값의 차이는 여름철보다 겨울철에 크다. 또한 내륙의 성격을 갖는 서울이 해양의 성격을 갖는 제주에 비하여 겨울철 일 최고 NET와 일 최저 NET의 월별 극값

간의 차이가 크다. 겨울철의 일 최고 NET와 일 최저 NET의 월별 극값간의 차이의 최대값은 최한 월인 1월이 아닌 2월에 나타나는데, 이는 1월과 2월의 일 최저 NET값보다 일 최고 NET가 더 빨리 상승했기 때문이다. 즉 Table 1과 같이 1월과 2월의 기온, 풍속, 습도의 차이가 일 최저 NET가 주로 나타나는 24~9시보다 일 최대 NET가 나타나는 12~18시에 더 크다.

연구 기간 동안의 서울의 일 최고 NET의 극값은 31.7로 평년에 비하여 7월 평균 기온이 3.6°C 높았던 1994년 7월 23일 18시에 나타났다. 기온은 36.9°C, 풍속은 3.2m/s, 습도는 52.0%로 습도보다는 높은 기온의 영향을 받았다. 일 최저 NET의 극값은 -30.2로 한파가 나타났던 1998년 1월 24일 6시에 나타났으며, 기온과 풍속, 바람은 각각 -14.6°C, 5.5m/s, 57.0%였다. 제주의 일 최고 NET의 극값은

Table 1. Difference of temperature, wind speed and relative humidity between January and February in Seoul and Jeju

	Time	Seoul			Jeju		
		Jan	Feb	Diff.	Jan	Feb	Diff.
Temperature(°C)	3	-3.3	-1.7	-1.6	5.6	5.4	0.2
	6	-4.0	-2.5	-1.5	5.5	5.2	0.3
	9	-3.9	-1.9	-2.0	5.8	6.0	-0.2
	12	-0.4	2.1	-2.5	7.1	7.7	-0.6
	15	1.5	4.1	-2.6	7.4	8.2	-0.8
	18	0.1	2.9	-2.8	6.6	7.3	-0.7
	21	-1.3	0.9	-2.2	6.0	6.3	-0.3
	24	-2.5	-0.4	-2.0	5.7	5.8	-0.1
Wind speed(m/s)	3	1.8	2.0	-0.3	4.4	4.3	0.2
	6	1.8	1.8	0.0	4.6	4.4	0.2
	9	2.1	2.2	-0.1	4.3	4.1	0.2
	12	2.7	2.9	-0.2	4.5	4.7	-0.2
	15	3.4	3.8	-0.4	4.9	5.0	-0.1
	18	3.2	3.7	-0.5	4.8	4.5	0.3
	21	2.4	2.8	-0.3	4.4	4.2	0.2
	24	2.1	2.2	-0.2	4.3	4.1	0.2
Relative humidity(%)	3	65.6	65.3	0.3	68.3	67.8	0.5
	6	68.1	67.7	0.4	68.4	68.3	0.1
	9	68.1	65.9	2.1	67.7	66.6	1.1
	12	52.8	49.5	3.3	63.0	61.1	1.9
	15	45.1	41.9	3.2	61.9	59.1	2.8
	18	50.2	46.4	3.9	63.8	61.4	2.3
	21	57.9	56.4	1.5	65.7	65.3	0.3
	24	62.9	61.5	1.5	66.8	67.5	-0.7

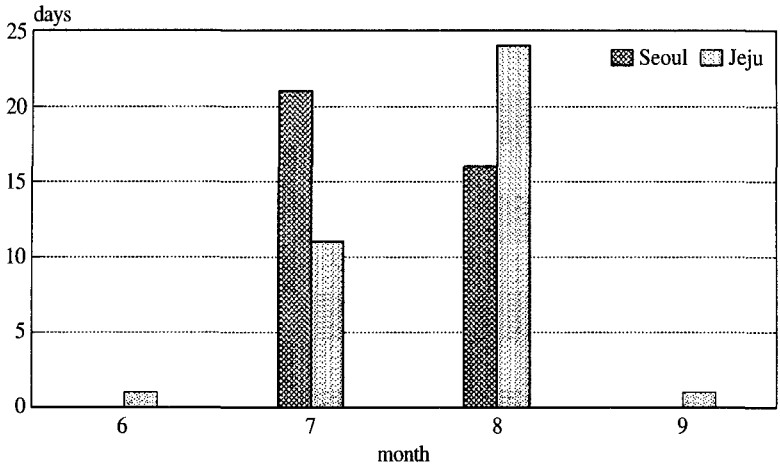


Fig. 5. Monthly distribution of the number of days with NET ≥ 99% in warm season (1991-2000)

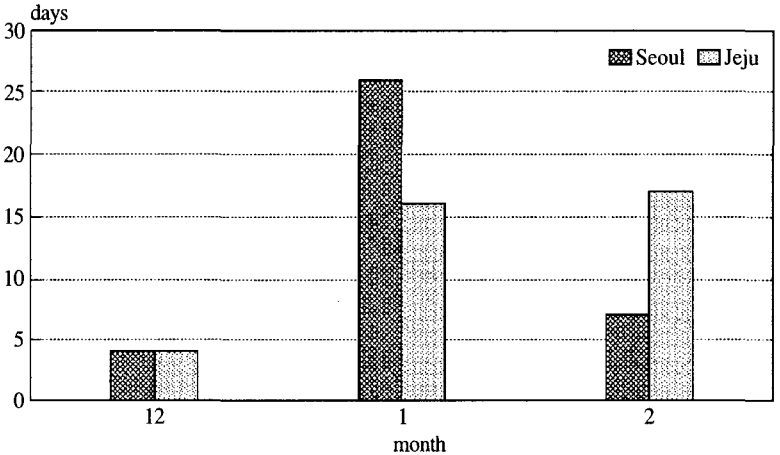


Fig. 6. Monthly distribution of the number of days with NET ≤ 1% in cold season (1991-2000)

31.4(1998년 8월 11일 발생)이며 일 최저 NET의 극값은 -20.0(1998년 1월 19일)이다. 기온과 풍속, 바람은 일 최고 NET인 경우 각각 37.1°C, 4.7m/s, 47.0%이고 일 최저 NET인 경우 각각 -0.1°C, 9.7m/s, 96.0%이다. 일 최고 NET는 서울과 같이 높은 기온에 의하여 발생하고, 일 최저 NET는 기온보다는 강한 바람과 높은 습도에 의하여 발생하였다.

날씨 스트레스 지수 중 상대적 개념인 NET는 특정 지역의 더운 날씨와 추운 날씨를 선정하기 위하여 NET의 극값을 이용한 기준을 제시한다. 상대적 날씨 스트레스 지수의 기준을 선정할 때 Kalkstein and Valimont(1986)와 Kalkstein et al.(1996)은 총 연구 기간 동안의 apparent

temperature를 이용한 날씨 스트레스 지수 값의 99% 이상인 경우를 스트레스를 받는 기준으로 적용시킨 반면에, WHO/WMO/UNEP(1996)는 95% 이상일 때 인체에 영향을 준다고 하였다. Fig. 5와 6은 99% 이상인 기준을 선정하여 NET의 극값을 분석한 것이다. 이는 일년에 한번 정도 발생할 수 있는 가장 스트레스가 심한 경우로, 일 최고 NET는 Fig. 5와 같이 기온이 높은 계절에 집중되어 있으며 여름철의 스트레스 분석에 이용하였고 일 최저 NET는 Fig. 6과 같이 기온이 낮은 계절에 집중되므로 겨울철 스트레스 분석에 이용하였다. 일 최고 NET는 값이 클수록 스트레스가 강하므로 일 최고 NET의 99% 이상의 수치를 선정하였고, 일 최저

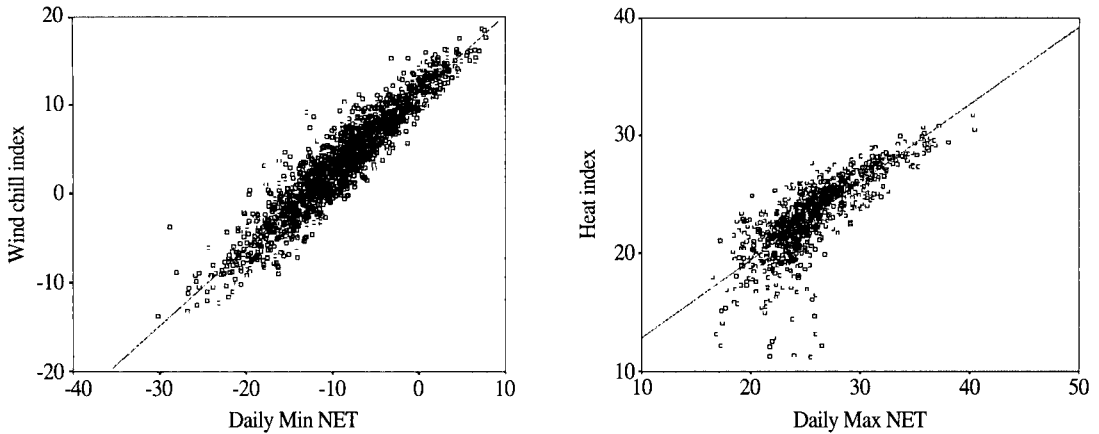


Fig. 7. Correlation of NET with wind-chill index and heat index in *Seoul* (Left: winter daily minimum NET and wind-chill index, Right: summer daily maximum NET and heat index)

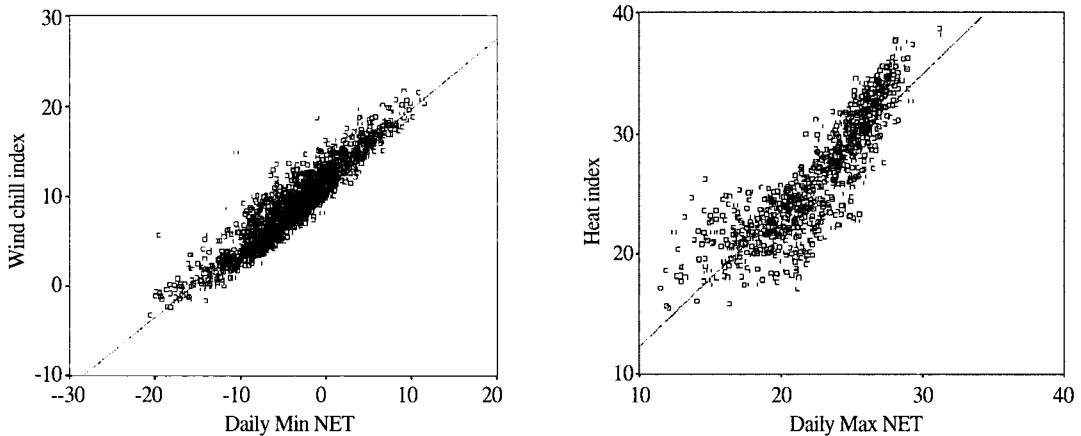


Fig. 8. The same as Fig. 7 except for *Jeju*

NET는 값이 작을수록 스트레스가 강한 것이므로 일 최저 NET의 1% 이하의 수치를 선정하였다.

여름철 일 최고 NET의 99% 이상인 극값은 서울은 7월, 제주는 8월에 가장 높은 빈도를 보인다. 서울이 7월과 8월에 집중된 것에 비하여, 해양의 영향을 받는 제주는 6월에서 9월까지 분포한다. 이와 같은 극값을 발생시킨 대기 상태는 평균적으로 서울은 기온 34.1°C, 풍속 2.3m/s, 습도 86.0%이며, 제주는 기온 32.7°C, 풍속 3.4m/s, 습도 64.2%이다. 즉 서울이 제주에 비하여 기온과 습도가 더 높을 때 스트레스를 받는 것이다.

겨울철 일 최저 NET의 1% 이하인 극값은 두 지역 모두 12~2월에 나타난다. 서울은 최한월인 1

월에 발생빈도가 가장 많고, 제주는 2월, 1월 순이다. 서울은 평균적으로 기온 -9.4°C, 풍속 5.2m/s, 습도 59.0%이고 제주는 0.5°C, 10.2m/s, 82.9%의 대기 상태였다. 제주에 비하여 서울의 기온은 매우 낮고, 풍속과 습도는 제주가 서울에 비하여 높다. 즉 겨울철의 서울 지역 주민들은 기온이 -9°C 이하일 때, 약한 강풍이 불 때 스트레스를 받지만, 제주 지역은 기온이 0°C 이상인 경우 10m/s 이상의 강풍과 80% 이상의 습도가 나타날 때 강한 스트레스를 받아 실제 각 지역 주민들이 체감하는 온도를 잘 나타낸다고 생각한다.

앞서 분석된 NET가 지역 주민들의 겨울철과 여름철의 체감 정도를 잘 나타내는지를 정량적으

로 파악하기 위하여 이미 대중적으로 널리 사용하고 있는 윈드칠 지수와 열 지수와의 상관 관계를 분석하였다. 윈드칠 지수는 겨울철에 유용한 지수이고 열 지수는 여름철에 주로 이용한다.

겨울철 일 최저 NET와 겨울철 윈드칠 지수와 상관 계수는 서울은 0.94, 제주는 0.93이며, 여름철 일 최고 NET와 여름철 열 지수는 서울과 제주가 각각 0.79, 0.86으로 상관 관계가 높다. NET는 여름철과 겨울철의 스트레스 지수로 유용하다고 생각할 수 있다(Fig. 7과 Fig. 8).

4. 여름철과 겨울철 NET의 분포

1) 스트레스 지수로서 NET의 발생 시각 분포

스트레스 지수로서 상대적 기준을 제시하기 위한 NET의 기준치는 매년 여름철 평균 2~3일과 겨울철 평균 3~4일이 발생 할 수 있는 일 최고 NET의 상위 2.5%와 일 최저 NET의 하위 2.5%를 선정(Li and Chan, 2000)하였다. 즉 서울은 여름철 스트레스 기준값으로 일 최고 NET의 상위 2.5%에 해당하는 28.9, 겨울철 스트레스 기준값으로는 일 최저 NET의 하위 2.5%에 해당하는 -21.5를 선정하고, 제주는 각각 28.1, -15.8을 선정하였다.

서울과 제주의 겨울철과 여름철의 스트레스가 강한 날들의 발생 시각 분포를 살펴보았다. 여름철에는 하루 중 기온이 가장 높은 시간대인 15시에

집중한다(Fig. 9). 서울은 12시부터 18시 사이에 주로 발생하였으나, 제주는 야간에도 발생하였다. 겨울철은 여름철에 비하여 분포 시간대가 넓다(Fig. 10). 서울은 9시에 발생 빈도가 가장 높고, 야간인 3시, 24시, 6시 등의 순으로 한낮을 제외한 시각에 발생하였다. 제주는 3시에 가장 높은 값을 보이고, 24시, 9시, 18시 등 전 시간대에 발생하였다.

여름철의 스트레스가 강한 날들의 평균적인 대기 상태는 서울은 기온 35.0°C, 풍속 2.2m/s, 습도 51.2%이고, 제주는 각각 33.1°C, 3.2m/s, 62.0%이다. 겨울철에는 서울은 기온 -9.8°C, 풍속 5.3m/s, 습도 57.7%이고 제주는 0.6°C, 9.9m/s, 82.8%로 여름철에 비하여 두 지역의 차이가 크다. 즉 겨울철에 서울은 낮은 기온에 의해 스트레스를 강하게 받고, 제주는 기온은 영상이지만 강한 바람과 높은 습도로 인하여 스트레스를 받는다.

2) NET의 지역별 기준값 분포

절대적 지수인 윈드칠 지수와 열 지수 등은 특정 계급을 구분하여 단계별로 날씨 스트레스 정보를 제공하지만 상대적 지수인 NET는 특정 기준을 선정하여 그 기준값을 초과할 때 스트레스를 받을 수 있다는 정보를 제공한다. 따라서 상대적 지수는 각 지역별로 기준값을 선정해야 한다.

여름철 스트레스를 받는 기준으로는 여름철 일 최고 NET를 이용하고, 겨울철 스트레스를 받는 기준으로는 겨울철 일 최저 NET를 이용하여 각각 상·하위 2.5%에 해당하는 값을 선정하였다. Fig.

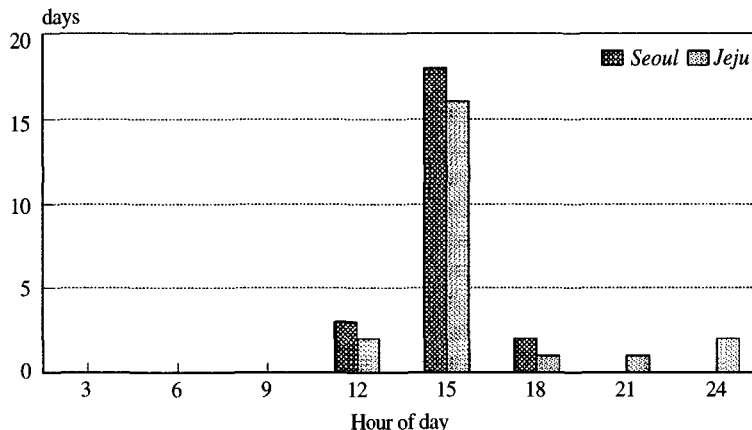


Fig. 9. Diurnal variations of the occurrences of extreme WSI $\geq 97.5\%$ in summer (1991-2000)

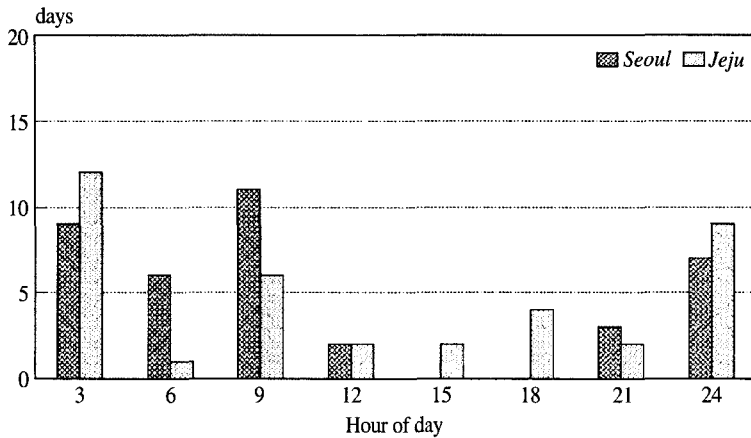


Fig. 10. The same as Fig 9, except for WSI ≤ 2.5% in winter (1991-2000)

11은 지역별 여름철 일 최고 NET 기준값의 분포이다. 더운 지역의 주민들은 더위와 관련된 스트레스에 적응하여 다른 지역에 비하여 스트레스를 강하게 받는 상대적 NET의 기준값이 높다.

내륙 지역에서 기준값이 높고 해안과 산지 지역에서 상대적으로 값이 낮다. 가장 높은 기준값은 대구(30.2)이며, 춘천(29.6), 전주(29.5), 포항(29.5), 청주(29.4), 원주(29.3), 울산(29.1), 서울(28.9) 등의 순이다.

강릉과 포항, 울산은 해안 지역이지만 일 최고 NET 기준값이 높게 나타난다. Table 2는 강릉과 속초, 부산과 울산의 여름철 일 최고 NET의 상위 2.5% 이상인 날들의 기온과 풍속, 습도이다. 여름철의 NET는 기온이 높고, 습도가 높으며, 바람이 약할수록 그 값이 크다. 강릉과 속초의 평균 기온은 강릉이 2.9°C 높고, 풍속과 습도는 속초가 각각 0.2m/s, 15.2% 더 높다. 습도가 높고 풍속이 약할수록 여름철 NET 값이 커지는 것에 반하여 강릉이 속초보다 더 높은 NET 기준값을 갖는다. 이는 두 지역의 NET 기준값에 습도보다는 기온의 역할이 크다는 것을 확인할 수 있다. 즉 여름철 일 최고 NET값이 주로 나타나는 시기는 7, 8월이며, 앞서 분석된 것(Fig. 9 참조)처럼 15시에 집중되므로 Fig. 12와 같이 일 최고 기온 분포의 영향을 받은 것이라 생각한다. 부산과 울산의 경우도 평균 습도가 부산이 10.6% 높지만 울산의 평균 기온이 35.2°C로 부산보다 2.4°C 높아서 스트레스 지수를 위한 NET 기준값이 높다.

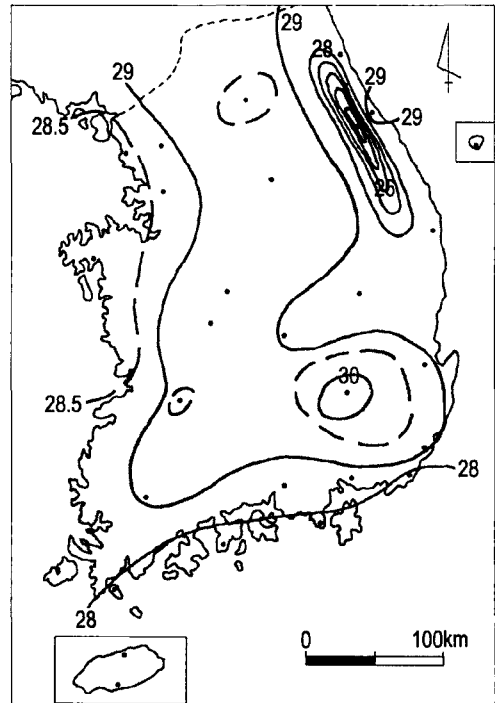


Fig. 11. Spatial Distribution of daily maximum NET critical value in summer (1991-2000)

강릉과 포항, 울산은 주변 지역에 비하여 도시화가 활발하여, 동해안 지역에서 일 최고 기온이 높게 나타난다. 울산의 남서쪽에 위치한 부산은 우리나라 제 2의 도시임에도 울산에 비하여 NET 값이 낮다. 이는 울산의 스트레스가 강한 날들이 주로 서풍 계열(91.3%)로 편 현상에 의하여 기온이 높

Table 2. Difference of temperature, wind speed and humidity of very stressful days in summer at two adjacent cities.

	Mean Temp.(°C)	Mean wind speed(m/s)	Mean humidity(%)
Gangneung	35.6	2.3	48.2
Sokcho	32.7	2.1	63.4
Difference	2.9	0.2	-15.2
Busan	32.8	3.8	61.9
Ulsan	35.2	2.5	51.3
Difference	-2.4	1.3	10.6

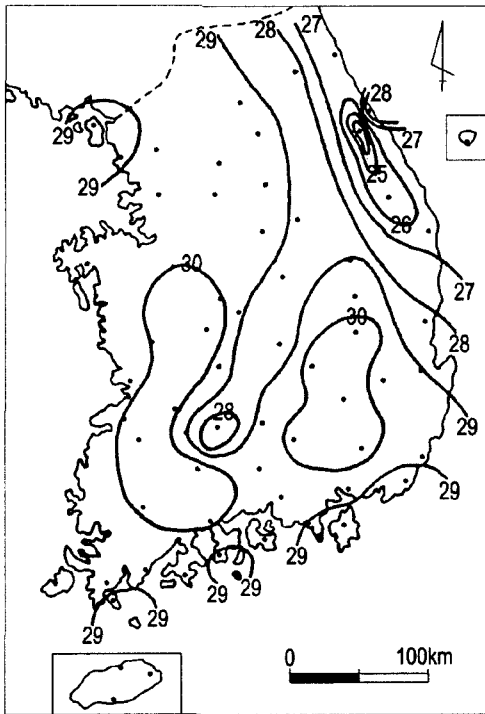


Fig. 12. Spatial distribution of daily maximum temperature in summer (1991~2000)

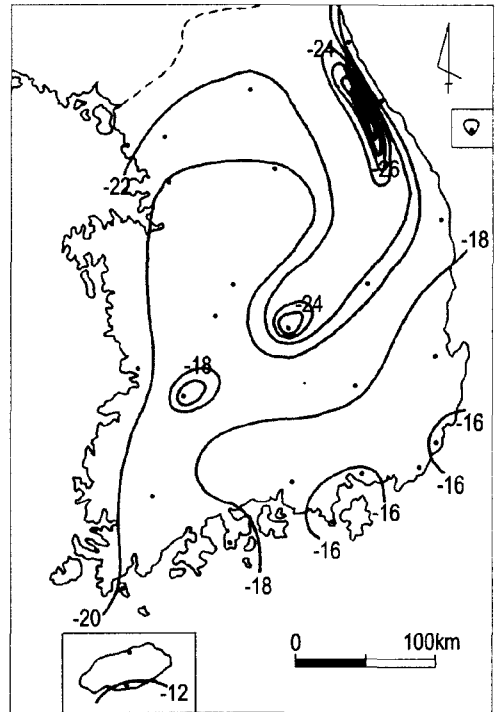


Fig. 13. Spatial distribution of daily minimum NET critical value in winter(1991~2000)

은데 반하여, 부산의 경우는 서풍 계열의 바람이 73.9%이고 다른 방향의 바람이 불 때도 스트레스가 강한 날이 발생하기 때문이다. 즉 울산과 부산이 인접하였지만 울산까지는 태백산맥이 약하게 영향을 주고 부산은 산맥의 영향을 받지 않기 때문이라고 생각한다.

겨울철 스트레스를 강하게 받는 기준값은 여름철에 비하여 지역별로 다양하다(Fig. 13). 추운 지역일수록 지역 주민들이 추위와 관련된 스트레스에 적응하여 다른 지역에 비하여 스트레스를 강하게 받는 기준값이 낮다. 산지 지역인 대관령(-38.0)

과 추풍령(-26.4), 서울 이북 지역을 제외하고 해안 지역에서 기준값이 낮는데, 서해안 지역인 인천(-23.3), 군산(-22.4), 목포(-21.3) 지역과 동해안 지역인 속초와 강릉, 울진이 -19.6 순으로 낮다. 남해안 지역은 상대적으로 높은 기준값을 갖는다.

우리나라는 겨울철에 한랭한 북서 계절풍의 영향을 받으므로 내륙 지역보다 해안 지역에서 스트레스 지수를 위한 기준값이 낮게 나타난다.

특히 서해안 지역은 바람 부는 방향에 직접 노출되어 있어서 동위도대인 동해안 지역보다 그 영향이 더 크다. 상대적으로 기준값이 높은 남해안

Table 3. Difference of regional temperature, wind speed and humidity of strongly stressful days in winter at two adjacent cities

	Mean Temp.(°C)	Mean wind speed(m/s)	Mean humidity(%)
Wando	-2.7	10.2	80.0
Tongyeong	-4.4	5.6	47.1
Difference	1.7	4.6	32.9
Wuljin	-6.7	6.8	57.6
Pohang	-6.4	5.2	45.9
Difference	-0.3	1.6	11.7

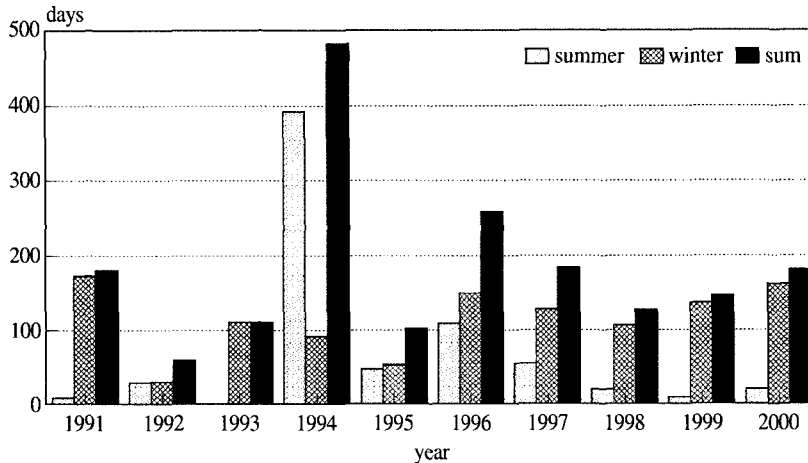


Fig. 14. Annual variations of the occurrences of extreme WSI for WSI ≤ 2.5% in winter and WSI > 97.5% in summer

지역에서도 서쪽에 위치한 완도, 여수에 비하여 동쪽에 위치한 마산, 통영, 부산 등이 더 수치가 높아서 각 지역의 주민들이 겨울철 스트레스에 반응하는 기준이 다를 것이라 생각한다. Table 3은 남해안 지역의 서쪽과 동쪽에 위치한 완도와 통영의 겨울철 스트레스가 강한 날의 평균 기온, 평균 풍속, 평균 습도이다. 완도가 통영에 비하여 기온은 1.67°C 높고, 풍속과 습도는 각각 4.6m/s, 32.9% 높다. 이들 지역은 기온보다는 시베리아 고기압으로 인한 강한 북서계절풍의 영향에 의하여 차이가 발생하고 있다.

동해안 지역에서는 속초부터 울진까지는 기준값이 비교적 낮지만, 영덕부터 포항, 울산은 상대적으로 높은 기준값을 갖는다. 울진이 포항에 비하여 평균적으로 기온이 0.3°C 낮고, 풍속과 습도는 0.6m/s, 11.7% 높다. 즉 울진과 영덕을 경계로 하여 같은 동해안 지역이라도 주민들이 느끼는 겨울철 스트레스 정도가 차이가 날 수 있다.

3) 스트레스가 강한 날들의 연변화

Fig. 14는 분석 지점의 여름철과 겨울철의 스트레스가 강한 날들의 연별 총 발생 빈도를 나타낸 것이다. 날씨 스트레스가 가장 심한 해는 각 관측 지점들의 평균 기온 최고 극값을 기록하고 있는 1994년(482일)이며, 1996년(258일), 1997년(183일), 2000년(181일), 1991년(180일) 순이다. 스트레스가 강한 날이 집중된 1994년은 여름철 스트레스가 뚜렷하다. 여름철 스트레스 발생 빈도의 56.8%를 차지한다. 겨울철 스트레스가 강한 해는 여름철에 비하여 분석 기간 전반에 걸쳐 나타난다.

1994년의 여름철 평균 기온은 6월에는 평년보다 1.4°C 낮았으나, 7월과 8월의 기온이 각각 2.4°C, 0.9°C 더 높아서 강한 여름철 스트레스를 야기시켰다(Table 4). 7월, 8월의 높은 기온은 NET의 값을 증가시켜 7월 중순에서 8월 상순 사이에 일 최고 NET 극값의 발생 빈도가 65.5%에 이르렀다.

대부분 스트레스가 심했던 해가 여름철이나 겨

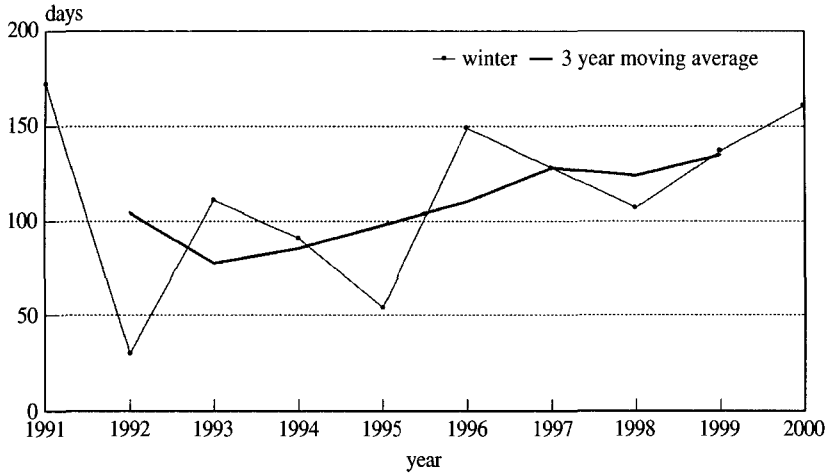


Fig. 15. Trend of the occurrences of extreme WSI ≤ 2.5% in winter

Table 4. Comparison normal mean temperature with strongly stressful year mean temperature in summer

	(unit: °C)		
	June	July	August
1994	19.4	26.8	26.0
Normal (1971~2000)	20.8	24.4	25.1
Difference	-1.4	2.4	0.9

울철에 집중하여 나타나는데 반하여 1996년은 여름철과 겨울철에 모두 스트레스가 심한 것으로 나타났다. 즉 1994년이 스트레스가 심한 빈도수는 많지만 7월과 8월에 집중된 것에 비하여, 여름철과 겨울철 모두 스트레스가 심했던 해는 1996년이다. 여름철에는 8월 상순에 집중되고, 겨울철에는 2월 상순에 집중되어 나타났다.

여름철 스트레스는 분석 기간인 최근 10년 동안에 1994년을 제외하고 뚜렷한 변화 경향을 보이지 않는다. 반면에 겨울철 스트레스는 Fig. 15와 같이 뚜렷한 증가 경향을 보인다. 이는 1990년대 중반 이후 서해안 지역과 울릉도의 적설량이 증가한 것과 유사한 경향이다. 즉 전구적인 기온 변화와 시베리아 고기압의 강도 변화와 높은 상관관계를 갖고 있는 이들 지역의 적설량이 증가하는 것(이승호·최병철, 2001)과 겨울철 스트레스 발생에 낮은 기온과 강한 바람의 증가가 요인이 될 수 있다고 생각한다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 대표적인 상대적 날씨 스트레스 지수인 NET를 이용하여 우리나라의 지역별 기후 특성의 표현 가능성을 파악하고자 하였다. 기상청에서 예보하고 있는 기온, 습도, 풍속 등을 이용하여 NET 값의 시공간적 분포 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

여름철 스트레스 지수인 일 최고 NET는 주로 7월과 8월에 집중되고 높은 기온의 영향을 받으므로 하루 중 15시에 집중되어 나타난다. 겨울철 스트레스 지수인 일 최저 NET는 1월과 2월, 12월 순으로 집중되어 나타난다. 내륙에 비하여 해안 지역에서 강한 바람에 의해 기준값이 낮게 나타나고, 발생 시간대도 야간에 집중된 내륙에 비하여 해안 지역은 낮 시간대에도 발생한다.

여름철 스트레스를 받는 기준은 내륙 지역에서 기준값이 높고 해안과 산지 지역에서 상대적으로 낮다. 이는 바람과 습도보다는 기온의 영향을 받아 일 최고 기온의 분포와 유사한 분포이다. 겨울철 스트레스를 받는 기준은 여름철에 비하여 지역별로 다양하며, 산지 지역과 서울 이북 지역을 제외하고 해안 지역에서 기준값이 낮다. 특히 겨울철의 한랭한 북서계절풍에 직접 노출된 서해안 지역은 동위도대인 동해안 지역보다 기준값이 낮아 그 지역의 주민들이 느끼는 체감 정도를 잘 표현하고 있다.

최근 10년간의 스트레스가 강한 날의 발생 빈도의 변화는 여름철에는 나타나지 않지만, 겨울철에는 뚜렷한 증가 경향을 보인다. 이는 최근 시베리아 고기압의 강도와 관련성이 높은 서해안과 울릉도의 적설량 증가와 유사하다.

기상청에서 제공하는 생활 지수로서의 스트레스 지수는 절대적 지수인 볼쾌 지수와 윈드칠 지수, 열 지수가 대표적이다. 그러나 이들은 우리나라의 지역별로 다양한 스트레스 정도를 표현하는데 어려움이 있다. NET는 상대적으로 우리나라의 지역별 기후의 특성을 잘 반영하고, 특정 계절에 국한하지 않고 날씨로 인한 스트레스를 많이 받는 겨울철과 여름철에 모두 사용가능함을 확인하였다. 그러나 본 연구에서는 스트레스를 받는 기준인 25%에 대하여 실제 우리나라 주민들도 심한 스트레스를 받는 지에 관한 현장 조사가 부족하다. 이를 보완하기 위하여 추후 각 지역별 생리 실험 등의 현장 조사가 필요할 것이다. 또한 각 지역의 스트레스 기준을 설정하는데 있어서 좀더 오랜 기간의 자료를 축적하여 평년값과 같이 그 지역의 스트레스 정도를 객관적으로 대표할 수 있는 자료가 요구된다.

註

- 1) 속초, 대관령, 춘천, 강릉, 서울, 인천, 원주, 울릉도, 수원, 서산, 울진, 청주, 대전, 추풍령, 안동, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 마산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 완도, 제주, 서귀포, 진주 등의 기상대급 이상의 관측소를 포함한다.
- 2) 기상청은 대표적인 겨울철 날씨 스트레스 지수인 윈드칠 지수의 정보를 10월에서 4월까지 제공하고 있지만, 본 연구에서는 기온의 변화가 10°C 이하로 떨어지며 한랭한 시베리아 고기압의 영향을 받는 11월에서 3월까지를 선정(이승호, 1995)하였다.

文獻

강철성, 1997, 한국의 열감분포에 관한 생리 기후학적 연구-신유효온도를 중심으로-, 대한지리학회지, 32(2), 129-140.

윤진일, 봉종현, 1987, Apparent Temperature에 의

한 서울 지방의 여름철 생활 쾌적도 평가, 기상연구소 논문, 79-87.

이승호, 1995, 한반도 주변의 기압 배치형에 의한 한국의 자연 계절 구분, 지리학연구, 26, 65-78.

이승호, 최병철, 2001, 울릉도의 적설량 변화, 한국기상학회지, 37(4), 317-328.

이종범, 전상호, 1982, 쾌적 지수에 의한 한국의 기후 후 구분에 관한 연구, 한국기상학회지, 18, 48-52.

최광용, 최종남, 김중욱, 손석우, 2002, 남한의 체감 무더위의 기후학, 대한지리학회지, 37(4), 385-402.

Diaz, J., Garcia, R., Velazquez ds Castro, F., Hernandez, E., Lopez, C., and Otero, A., 2002, Effective of extremely hot days on people older than 65 years in Seville(Spain) from 1986 to 1997, *International Journal of Biometeorology*, 46, 145-149.

Hentschel, L. S., 1987, A human biometeorology classification of climate for large and local scales, In Proc. WMO/HMO/UNEP Symposium on Climate and Human Health, Leningrad 1986, I, WCPA-No. 1, WMO.

Kalkstein, L. S. and Valimont, K. M., 1986, An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 67(7), 842-848.

Kalkstein, L. S. and Valimont, K. M., 1987, An evaluation of winter weather severity in the United States using the weather stress index, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 68(12), 1535-1540.

Kalkstein, L. S., Jamoson, P. F., Greene, J. S., Libby J., and Robinson, L., 1996, The Philadelphia Hot Weather-Health Watch/Warning System: development and application, Summer 1995, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77(7), 1519-1928.

Li, P. W. and Chan, S. T., 2000, Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong, *Meteorological Applications*, 7, 369-375.

Matzarakis, A. and Mayer, H., 1997, Heat stress in

- Greece, *International Journal of Biometeorology*, 41(1), 34-39.
- Nkiolopoulou, M., 2001, The effect of climate on the use of open spaces in the urban environment, *International Society of Biometeorology*, 185-193.
- Siple, P. A. and Passel, C. F., 1945, Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures, *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 89, 177-199(재인용).
- Smoyer, K. E., 1998, A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis Missouri-1980 and 1995, *International Journal of Biometeorology*, 42(1), 44-50.
- Steadman, R. G., 1971, Index of windchill of clothed persons, *Journal of applied meteorology*, 10, 674-683.
- Steadman, R. G., 1984, A universal scale of apparent temperature, *Journal of applied meteorology*, 23, 1674-1282.
- WMO/HMO/UNEP, 1996, Climate Change and Human Health, WHO.
http://www.crh.noaa.gov/mpx/windchill_new.html
<http://www.crh.noaa.gov/pub/heat.htm>
- 최초투고일 03. 12. 16
최종접수일 04. 03. 05