기후변화 대응을 위한 RCP 시나리오 기반 국내 열지수와 불쾌지수 예측

이수지¹⁾ · 권보연¹⁾ · 정대호¹⁾ · 조경희¹⁾ · 김문석²⁾ · 하승목²⁾
김현아²⁾ · 김별님²⁾ · M. A. Masud²⁾ · 이은일^{1),*} · 김용국^{2),*}

¹⁾고려대학교 의과대학 예방의학교실, ²⁾경북대학교 수학과

(접수: 2012년 12월 17일, 수정: 2013년 2월 5일, 게재확정일: 2013년 3월 19일)

Future Prediction of Heat and Discomfort Indices based on two RCP Scenarios

Suji Lee¹⁾, Bo Yeon Kwon¹⁾, Deaho Jung¹⁾, Kyunghye Jo¹⁾, Munseok Kim²⁾, Seungmok Ha²⁾,
Heona Kim²⁾, Byul Nim Kim²⁾, M. A. Masud²⁾, Eunil Lee^{1),*}, and Yongkuk Kim^{2),*}

¹⁾Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Korea University, Seoul, Korea

²⁾Department of Mathematics, Kyungpook National University, Daegu, Korea

(Received: 17 December 2012, Revised: 5 February 2013, Accepted: 19 March 2013)

Abstract There has been an increasing need to assess the effects of climate change on human health. It is hard to use climate data to evaluate health effects because such data have a grid format, which could not represent specific cities or provinces. Therefore, the grid-format climate data of South Korea based on RCP (Representative Concentration Pathway) scenarios were modified into area-format climate data according to the major cities or provinces of the country, up to the year 2100. Moreover, heat index (HI) and discomfort index (DI) databases were developed from the modified climate database. These databases will soon be available for experts via a Website, and the expected HI and DI of any place in the country, or at any time, can be found in the country's climate homepage (<http://www.climate.go.kr>). The HI and DI were analyzed by plotting the average indices every ten years, and by comparing cities or provinces with index level changes, using the geographic information system (GIS). Both the HI and DI are expected to continually increase from 2011 to 2100, and to reach the most dangerous level especially in August 2100. Among the major cities of South Korea, Gwangju showed the highest HI and DI, and Gangwon province is expected to be the least affected area in terms of HI and DI among all the country's provinces.

Key words: Climate change, heat index, discomfort index, RCP (Representative Concentration Pathway)

1. 서 론

우리나라 기온은 지난 20세기 (1912~2010년) 동안 지구 온난화와 도시화의 영향으로 10년 평균 0.18°C씩

*Corresponding Author: Eunil Lee, Department of Preventive Medicine 145, Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-701 Korea;
Yongkuk Kim, Department of Mathematics, 80 Daehakro, Bukgu, Daegu, 702-701, Korea.
Phone : (02)920-6170, (053)950-5307
Fax : (02)920-7220, (053)950-6306
E-mail : eunil@korea.ac.kr, yongkuk@knu.ac.kr

상승했고, 전구기후모델의 결과에 따르면 지구 온난화로 인한 폭염의 발생빈도와 지속시간이 증가하며 강도는 더욱 강해질 것으로 예측되고 있다 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007; Meehl and Tebaldi, 2004; UNEP, 2004). 기후변화 영향의 가시화로 기후변화 적응을 위한 국내 연구가 활성화되고, 이로 인하여 기후변화 시나리오에 의해 생산된 기상자료에 대한 요구가 급격히 증대 되었다. 기상청에서는 기후변화 대응을 위한 국가전략 수립 지원을 위하여 정부간 협의체(IPCC)에서 5차 평가보고서 작성을 위하여 새롭게 권장하는 대표농

도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP) (Moss *et al.*, 2008)의 온실기체 배출시나리오에 따른 전 지구 및 지역기후변화 시나리오를 산출하고 있다 (국립 기상연구소, 2011). RCP 4.5에 의해 모의된 기온은 현재에 비해 21세기 말 (2070~2099)에 약 2.8°C, RCP 8.5 시나리오 하에서는 약 4.8°C 증가할 것으로 전망되어 폭염 혹은 열파와 같은 여름철의 극단적 고온현상으로 인한 건강영향의 피해가 가속화될 것으로 예상된다.

한국의 도시지역 기온 상승에 대한 연구는 다양한 형태로 진행되어 왔는데 (이명인과 강인식, 1997; 김맹기 등, 1998; 김경환 등, 2000; 하경자 등, 2004) 극한의 기온 상승이 뚜렷했던 특정 해의 특성을 분석한 연구들 (변재영 등, 2008), 여름철 옥외의 온열쾌적감을 평가하기 위해 열지수 (HI, Heat Index)와 불쾌지수 (DI, Discomfort Index)를 이용하여 옥외에서 사람들이 느끼는 온열쾌적감을 평가한 연구들이 있다 (김금지 등, 2011). 그러나 이러한 지수들을 미래 시나리오에 적용하여 미래 열적 지수의 장기적 변동 경향을 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 또한 기상자료는 격자구조로 구성되어, 시도별 건강영향 자료와 연계하기 어려웠다. 격자구조의 기상자료를 건강영향과 연계시켜 연구하기 위해서는 시도별 기상자료로 재구성되어야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 RCP 4종 중 RCP 4.5, 8.5를 기반으로 작성된 격자형 기후자료를 이용하여 우리나라 주요 시도지역의 기후자료를 생산하고, 이 자료를 2010년부터 2100년까지의 열지수와 불쾌지수의 장기적 변동 자료를 생산하여 미래 추세를 분석하였다. 또한 이 자료를 웹에 탑재하여 보건분야의 전문가들 및 일반인들에게 정보를 제공할 뿐 아니라 기후변화로 인한 열적 지수의 변화가 보건분야에 미치는 영향을 분석하기 위한 기초 자료로써 활용하고자 한다.

2 연구자료 및 처리방법

2.1. 연구자료

2.1.1. RCP 시나리오 자료

새로운 온실가스 농도 시나리오인 RCP 시나리오에는 4종이 있으며, RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5로 구분된다. RCP 8.5는 2100년에 복사강제력이 8.5 W/m²를 초과하는 고농도 시나리오 (현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우)로서, 기존의 Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A2와 A1F1사이의 복사강제력 값을 가지고 있다. RCP6은 2100년 후에 복사강제력 6 W/m²에서 안정화되는 중간 농도 시나리오 (온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우)로서, SRES A1B 복사강제력 값과 매우 유사하다. RCP 4.5는 2100년 후에 약 4.5 W/m²에서 안정화되는 저농도 시나리오 (온실가

Fig. 1. CO₂ concentrations based on historical data and IPCC RCPs 8.5, 6.0, 4.5 and 2.6 scenarios.

스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우)로서 SRES B1복사강제력보다 약간 크다. RCP2.6은 2100년 전에 복사 강제력이 약 3 W/m²에 도달하고 이후 하강하는 형태를 가진 최저농도 시나리오 (지구의 회복력으로 온실가스 감축이 최대로 이뤄질 것으로 가정)로서, 유사한 SRES 시나리오는 없다. Fig. 1은 과거 (1850~2005) 및 미래 (2006~2100) RCP 4종류의 가정에 근거한 CO₂의 농도 변화를 보여주고 있다 (국립기상연구소, 2011). 본 연구에서는 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 RCP 4.5 시나리오와 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우인 RCP 8.5 시나리오 두 가지를 이용하여 열지수와 불쾌지수의 장기적 변동 자료를 생산하였다.

2.1.2. 열지수 (Heat Index, HI) 생산

열지수는 무더위를 정량화하고 기온이 높을 경우에 예상되는 재해를 막기 위해 R. G. Steadman의 Apparent Temperature를 향상시켜 미국 기상대가 1985년부터 열지수를 사용하기 시작했다. 열지수는 대기온도와 상대습도를 결합하여 인간이 어떻게 느끼는지 인지온도로 대체하여 측정된 지표로 평상복을 입고 있는 보통의 인체모델이 가볍게 그늘에서 걸어가면서 주변환경과 열 교환하는 양을 계산하여 기온 27°C 이상, 습도가 40% 이상일 때 기온과 습도의 두 인자로 요약한 체감온도 지수이며, 우리나라와 같이 기온과 습도가 높은 몬순기후지역에 적합하다 (Steadman, 1979). 열지수 계산식은 아래에 제시한 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Heat Index (}^{\circ}\text{F)} = & -42.379 + 2.04901523T \\ & + 10.14333127R - 0.22475541TR \\ & - 6.83783 \times 10^{-3}T^2 - 5.481717 \times 10^{-2}R^2 \\ & + 1.22874 \times 10^{-3}T^2R + 8.5282 \times 10^{-4}TR^2 \\ & - 1.99 \times 10^{-6}T^2R \end{aligned} \quad (1)$$

Table 1. Health Effect of the Heat Index.

Heat Index (°C)	Categories	Possible symptoms
≥ 54	Extreme Danger	Heat Stroke or Sunstroke are imminent
41~54	Danger	Sunstroke, heat cramps or heat exhaustion are likely. Heatstroke with prolonged exposure and physical activity
32~41	Extreme Caution	Sunstroke, Heat cramps and heat exhaustion with prolonged exposure and physical activity under these conditions
27~32	Caution	Fatigue with prolonged exposure and physical activity

여기에서 T는 기온(°F) 그리고 R은 상대습도(%)이다. 우리나라는 열지수에 대한 기준을 Table 1과 같이 적용하여 산출된 열지수의 위험수준을 평가하고 있다 (Steadman, 1979; 최상복, 2004).

2.1.3. 불쾌지수(Discomfort Index, DI) 생산

날씨에 따라 사람이 불쾌감을 느끼는 정도를 기온과 습도를 조합하여 나타낸 수치를 말한다. 1957년 E.C.Thom이 제창한 것으로 사람이 느끼는 온도를 표현한 것으로 체감온도의 하나로 볼 수 있다. 현재 우리나라 기상청에서도 6월부터 9월까지 불쾌지수를 제공 중이며 일반적으로 온·습도 지수 (Temperature Humidity Index)라고도 한다. 불쾌지수의 계산식은 아래에 제시한 (2)와 같다.

$$\text{Discomfort Index} = 0.4(T_d + T_w) + 15 \quad (2)$$

여기서 사용한 T_d 는 건구온도(°F) T_w 는 습구온도(°F)이다(Thom, 1959). 하지만 습구온도를 관측하지 않는 우리나라 기상청에서는 아래에 제시한 식 (3)을 이용하여 불쾌지수를 계산한다.

$$\text{Discomfort Index} = 9/5 \times T - 0.55 \times (1 - RH)(9/5 \times T - 26) + 32 \quad (3)$$

위 식에서 T는 건구온도(°C)이며, RH은 상대습도(%)이다 (한국지구과학회, 2009). 지수를 산출하기 위해 변수는 최고온도와 상대습도를 사용했다. 우리나라는

Table 2. Health Effect of the Discomfort Index.

Discomfort Index (°C)	Possible phenomenon
> 80	Most of the total population suffers discomfort
75~80	The 50% of the total population feels discomfort
68~75	Few of the total population feels discomfort
< 68	No discomfort

Table 2와 같이 불쾌지수의 기준을 적용하고 있다.

2.2 행정구역별 열적 지수 산출 방법

2.2.1. 행정구역별 기후 데이터 생산

이 연구에서는 2단계로 구성되어 있는 국립기상연구소에서 개발한 기후변화 시나리오를 사용하여 기후 데이터를 생산하였다. 1단계는 HadGEM2-AO로 약 135 Km 해상도의 전 지구 기후변화 시나리오를 산출한 후 2단계로 지역기후모델인 HadGEM3-RA로 우리나라 지역에 대한 12.5 Km 해상도의 지역 기후변화를 산출하고, 12.5 Km 해상도의 지역기후자료를 가지고 행정구역별 기후데이터를 산출하였다. 12.5 Km 해상도 격자자료로 구성되어 있는 기후데이터 (상대습도, 최고온도)를 행정구역별 자료로 재생산하기 위해서는 각 행정지역 구분을 명확히 할 필요성이 있다. 우리나라 읍·면·동 전자지도는 2009년 기준 행정지역으로 되어 있어, 최근 새로운 행정지역이 반영되어 있지 않다. 따라서 ArcGIS (Arc Geographic Information System) 프로그램을 이용하여 2012년 4월 1일까지의 행정구역 변경사항이 반영된 2012년형 시·도 및 시·군·구 행정지역 전자지도를 생산하였다 (Fig. 2).

기상청에서 제공하는 RCP 4.5, 8.5 시나리오에 근거한 최고온도와 상대습도는 한반도 상세 격자 자료

Fig. 2. To renew a digital map of city and provinces.

(12.5 Km) 형태로 되어있다. 이 자료를 이용하여 행정 구역별로 최고온도와 상대습도를 재생산했다. 이를 위해 행정구역별 최고온도와 상대습도를 포함하는 격자면적의 비율에 의해 영향을 받는다고 가정하고 해당 행정구역에 포함되는 각 격자들의 넓이에 해당 행정구역 전체 면적의 비율로 각 격자들의 가중치를 주었고, ArcGIS 프로그램을 이용하여 우리나라 행정구역의 지도와 기상청에서 제공하는 격자정보 (12.5 Km)를 통합했다. 이를 이용하여 각 격자가 행정구역과 겹친 넓이를 계산한 후 프로그램을 이용하여 시·도 및 시·군·구 기후 자료를 반영한 프로그램 코드를 개발하고 해당 행정구역의 기후 데이터(최고온도, 상대습도)를 재생산했다 (4).

$$\begin{aligned}
 & \text{해당 행정구역의 기후 데이터} \\
 &= \sum (\text{해당행정구역 내에 포함되는 격자 기후} \times \text{격자별 가중치}) \\
 &= \sum (\text{해당행정구역 내에 포함되는 격자기후 데이터} \\
 &\quad \times \text{해당행정구역 내의 해당격자 넓이}) \\
 &\div \text{해당행정구역 전체넓이} \quad (4)
 \end{aligned}$$

2.2.2. RCP 시나리오를 기반으로 한 행정구역별 열지수, 불쾌지수 산출

행정지역별 응용정보를 생산하기 위해 프로그램 코드에 열지수 및 불쾌지수 공식을 넣어 행정구역별 열지수, 불쾌지수를 산출하기 위한 새로운 프로그램 코드를 개발했다. 개발된 코드에 생산된 행정구역 기후 데이터인 최고온도, 상대습도 데이터를 이용하여 RCP 4.5와 8.5 시나리오에 따른 행정구역별 열지수와 불쾌지수를 산출했다. 또한 열지수와 불쾌지수의 기준 구분 (Table 1, 2)에 따라 지역별 변화를 ArcGIS 프로그램을 활용하여 제시하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1. 주요 도시별 열지수와 불쾌지수

21세기 우리나라 미래 열지수의 변화를 전망하기 위해 2011년부터 2100년까지 주요 도시의 10년 단위

Fig. 3. The maximum temperature of major cities based on RCP 4.5, 8.5 (August in 2011~2100).

평균 열지수와 불쾌지수를 예측하기 위해 앞서 RCP 4.5, 8.5 각각에 대한 2011년부터 2100년까지 8월 평균 최고온도와 상대습도의 각각 추이를 알아보았다 (Figs. 3, 4). Figs. 3, 4는 인구가 가장 많이 살고 있는 서울, 분지인 대구, RCP 상의 가장 높은 온도를 기록하고 있는 광주와 가장 낮은 온도를 기록하고 있는 강원도를 선정해서 도시에 따른 온도와 습도의 경향성을 보여주고자 하였다. Fig. 3에서는 RCP 4.5와 8.5의 최고온도를 나타내었다. Fig. 3에서는 21세기 후반으로 갈수록 RCP 4.5와 8.5 모두 일정하게 증가하는 양상을 나타낸다. Fig. 4에서는 RCP 4.5와 8.5의 습도를 나타내었다. 또한 습도는 21세기 전반과 21세기 후반에서의 차이가 크지 않고 비슷한 경향성을 보여줄 것으로 예측된다.

이에 따른 주요도시의 열지수는 RCP 4.5, 8.5 두 가지 시나리오 모두에서 주요 도시 전체가 기온이 지속

Fig. 4. Humidity of major cities based on RCP 4.5, 8.5 (August in 2011~2100).

Fig. 5. Predict the heat index of major cities based on RCP 4.5 (August in 2011~2100).

Fig. 6. Predict the heat index of major cities based on RCP 8.5 (August in 2011~2100).

적으로 상승할 것으로 예측되었으며, RCP 4.5에 의해 모의 된 21세기말 (2090~2100년) 우리나라 주요도시의 평균 열지수는 21세기 초 (2011~2020년)에 비해 약 6~8.5 상승이 예상된다. 또한 RCP 8.5에 의해 모의된 열지수는 약 2081년부터 전국이 위험단계에 속하게 되고 몇몇 도시는 2050년부터 위험단계에 속하게 될 것으로 예측된다. 특히 광주지역의 상승폭이 평균 8.5로 다른 지역에 비해 높을 것으로 전망 되었으며 (Figs. 5, 6), 서울, 대전, 대구 순으로 예측된다. (김금지 등, 2009)에 따르면 대구의 경우 열지수 위험단계의 날이 18일 이상 나타나 신체활동시의 일사병이나 열경련의 가능성이 가장 높다고 보고한 바 있다. 여름철 폭염 피해가 가장 많이 발생하는 것으로 알려진 대구가 광주, 서울, 대전 보다 높지 않은 수치를 보이는 것은 전체적인 평균값을 계산해서 나온 것으로 폭염이 발생하는 특정 일수의 예측을 위해서는 자료에 대한 추가 분석이 필요하다.

RCP 8.5에 의해 모의된 평균열지수의 경우에는 21세기말의 평균 열지수가 21세기 초에 비해 12~18 상승될 것으로 예상되어 RCP 4.5에 비해 큰 상승폭을 보였으며, 21세기 말 (2090~2100년) 8월의 광주지역의 열지수는 56으로 예측되어, 열지수 기준 중 extreme danger 수준이 54를 초과하여, 인체에 대한 열스트레스가 매우 높아질 것으로 예측 되어 (Fig. 6), 기온상승을 억제하지 않을 경우 매우 심각한 건강위험이 도래될 수 있음을 보여주고 있다.

불쾌지수에 대한 주요도시의 예측값들의 변화는 열지수의 변화 양상과 매우 유사하다. RCP 4.5에 의해 모의 된 21세기 말 (2090~2100년) 우리나라 주요도시

의 평균 불쾌지수는 21세기 초 (2011~2020년)에 비해 약 3~4 상승이 예상된다 (Fig. 7). 특히 광주지역의 21세기 말 (2091~2100) 평균 불쾌지수는 86으로 가장 높았으며, 이 수치는 대부분의 사람들이 불쾌감을 경험하는 80을 훨씬 웃도는 수치이다. 인천지역의 경우 다른 지역보다 21세기 초 대비 상승폭이 높을 것으로 전망 되었다. RCP 8.5에 의해 모의된 평균 불쾌지수의 경우에는 21세기 말의 평균 열지수가 21세기 초에 비해 7.5~9.6 상승될 것으로 예상되어 RCP 4.5에 비해 큰 상승폭이 예측된다. 또한 다른 도시에 비해 광주지역의 21세기말(2091~2100)의 평균 불쾌지수가 91로 가장 높았으며, 인천지역의 경우 다른 지역보다 상승폭이 높아 모든 도시가 80이상의 값을 나타낼 것으로 전망 되었다 (Fig. 8). 기후변화에 의한 기온상승이 한반도에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 범국민적인 탄소사용 절감 대책 등 여러분야에서 동시다발적인 노력이 요구되는 상황이다.

3.2. 지역별 열지수와 불쾌지수의 변화

GIS를 활용하여 우리나라 열지수의 변화경향과 특히 취약한 지역을 확인하기 위해 RCP 4.5 8.5 각각을 적용해서 6월부터 9월까지의 미래 기후 (2091~2100년)의 전망을 공간적으로 살펴본 결과 대부분의 지역에서 열지수가 증가하는 경향이 나타났다 (Fig. 9). RCP 4.5 결과에서 나타난 미래의 열지수는 다른 달에 비해 8월이 더 크게 증가하는 경향을 보인 반면, 불쾌지수는 7월부터 크게 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 온도에 영향을 크게 받는 열지수와 습도에 영향을 크게 받는 불쾌지수의 영향때문인 것으로 보여진다. 강원도 지역의 경우 열지수 상승이 두 가지 시나리오 모두에서 상대적으로 적은 지역으로 나타나고 있으나, RCP 8.5 시나리오에 의하면 2091년에는 6월부터 높은 수준의 열지수가 나타남을 예측하고 있다. RCP 8.5 시나리오에 의한 열지수의 미래기후 전망을 지역별로 비교한 결과 모든 지역에서 RCP 4.5에 비해 상승폭이 높은 경향을 보였으며, 특히 다른 달에 비해 7월과 8월의 상승폭이 더 크게 증가하는 것으로 전망된다 (Fig. 9).

우리나라 불쾌지수의 변화경향과 특히 취약한 지역을 확인하기 위해 RCP 4.5 및 8.5에 근거한 자료를 각각 적용해서 6월부터 9월까지의 미래 기후 (2091~2100년)의 전망을 분석하였다. 대부분의 지역에서 불쾌지수가 증가하는 경향이 나타났는데, RCP 4.5 시나리오에 의한 결과에서는 미래의 불쾌지수가 다른 달에 비해 8월이 더 크게 증가하는 경향이 예측된다. 불쾌지수 수준은 열지수 수준의 변화와 유사하게 지속적으로 상승하고, 높은 수준을 보이는 지역이 넓어지는 양상을 보였으나, 열지수보다 불쾌지수 수준이 더 빠르게, 더 광범위하게 높은 수준으로 증가하는 경향이 예측된다. 특히 강원도 지역

Fig. 7. Predict the discomfort index of major cities based on RCP 4.5 (August in 2011~2100).

Fig. 8. Predict the discomfort index of major cities based on RCP 8.5 (August in 2011~2100).

Fig. 9. Change of heat index among 16 cities and provinces.

도 2091년이 되면 다른 지역과 차이 없이 가장 높은 수준의 불쾌지수 수준이 예측된다. RCP 8.5 시나리오에 의한 결과는 모든 지역에 걸쳐 RCP 4.5에 비해 상승폭이 크게 나타났으며, 6월과 9월의 강원도를 제외한 모든 지역의 불쾌지수 상승폭이 크게 증가하는 것으로 전망된다 (Fig. 10). 우리나라는 난방시스템은 비교적 잘 갖춰져 있으나, 냉방 시스템은 부족한 실정이기 때문에 앞으로 기온상승이 지속될 경우 국민 건강에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 특히 노약자와 어린이들의 건강 보호를 위한 대책이 필요할 것으로 전망된다.

3.3. 추가 기상지수 개발의 필요성

최근 기후변화의 가속화로 인해, 기후와 건강과의 관련성에 대한 관심이 높아짐에 따라 많은 기상 지수가 개발되고 사용 되고 있는데 이 연구에서는 열지수와 불쾌지수를 이용하여 우리나라 주요 도시 및 지역의 미래 예측치를 구하여 열스트레스에 의한 건강영향의 규모를 파악하기 위한 기초자료를 제시하였다. 그러나 최근에는 열지수나 불쾌지수 이외에도 온도, 습도, 풍속을 고려한 체감온도로서 사계절 모두 사용이 가능한 지수인 AT (apparent temperature)나 NET

Fig. 10. Change of discomfort index among 16 cities and provinces.

(Net Effective Temperature), 계절적 제한 없이 인체가 느끼는 저온에서 고온까지의 열 스트레스 단계의 구분이 가능한 PT (Perceived temperature)등을 활용해 열스트레스를 측정하고 있다.

AT는 1984년 Steadman에 의해 대기온도, 상대습도, 풍속을 고려하여 고안되었다. 기온과 습도에서 사람이 실제로 느끼는 더위를 지수화 한 것으로, 같은 기온이라도 습도에 따라 지수가 달라 질 수 있으며, 강한 바람 특히 뜨겁고 건조한 바람이 불면 더 위험한 환경이 될 수 있고, 여름과 겨울 동시에 다 사용될 수 있는 지수이다 (Steadman, 1984). PT는 인체가 저온 또는 고온 스트레스를 느끼는 기본환경에서의 기온이다. PT는 미 기상 규모에서 전지구 규모까지 공간적 확장이 가능하

며 인체가 느끼는 저온에서 고온까지 열 스트레스 단계의 구분이 가능하고 4계절 모두 이용 가능하며 (Jendritzky *et al.*, 2000; 이대근 등, 2010), 현재 독일 기상청에서 제공중이다. 그밖에도 NET은 1937년 Missenard에 의해 기온과 상대습도를 나타내는 여름철 체감온도로 고안되었고, Gregorczuk가 바람의 효과를 포함시켜 지수를 수정한 후 겨울철에도 적용 가능해 지면서 4계절 이용 가능한 대표적인 Weather stress index로 홍콩과 포르투갈에서 제공중이다 (Li and Chan, 2000).

3.4. 향후 계획

RCP 시나리오에 따라 열지수와 불쾌지수의 예측된 값들을 토대로 기상청 홈페이지를 통하여 2013년 3월

경에 탑재할 예정이다. 자료는 일반용, 전문가용으로 나누어져 있으며, 일반용은 웹에 접근하는 모든 사람들이 GIS 프로그램을 통하여 연도별, 행정구역별, RCP 종류별로 볼 수 있도록 탑재 될 예정이며, 전문가용은 실제 생산된 data값을 Binary 또는 ASCII형태로 올려서 연구에 활용 가능한 형태로 제공할 예정이다.

4. 결 론

본 연구에서는 RCP 4.5, 8.5 시나리오 자료 (12.5 km)를 기반으로 향후 100년간의 우리나라 여름철 열지수와 불쾌지수의 변화를 예측하고자 했다. 이를 위해 2012년 행정구역이 반영된 전자지도와 기상청에서 제공하는 RCP 4.5와 8.5를 기반으로 격자자료 형태의 기상자료를 통합하여 행정구역별 기상자료를 구축하였고, 이 자료를 활용하여 행정구역별 열지수와 불쾌지수를 산출했다. 21세기 초 (2011~2020)를 기준으로 21세기 말 (2091~2100)의 열지수와 불쾌 지수의 변화를 살펴본 결과 두 가지 응용정보 모두 미래로 갈수록 지수 값이 증가 할 것으로 예상되었다. 특히 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우인 RCP8.5의 상승폭이 RCP4.5에 비해 높게 나타났는데 서울 지역 열지수의 경우 RCP8.5를 적용한 값이 52.7, RCP4.5를 적용한 값이 43.3이었고, 불쾌지수의 경우에는 RCP8.5를 적용한 값이 89.8, RCP4.5를 적용한 값이 85.7으로 예측되었다. GIS를 활용하여 우리나라 전 지역에 대한 열지수와 불쾌지수 전망을 공간적으로 살펴본 결과에서는 RCP4.5의 경우 특히 8월에 강한 증가 경향이 나타났고 RCP8.5의 경우는 모든 달에 증가하는 경향이 나타났다. 본 RCP 8.5 시나리오에 따른 열지수, 불쾌지수의 예측은 4.5 시나리오보다 예측이 힘들어 산출된 결과물에 대한 오차 범위가 넓을 것으로 예상되었고, 도시화 효과를 고려하지 않고 예측했음에도 불구하고 도시지역의 상승폭이 근처 타지역보다 상승폭이 더 크게 예측되었다. 향후 연구에서는 이에 대한 보완이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책 지원 강화사업 (CATER 2012-3110)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

국립기상연구소, 2011: IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011.
김금지, 여인애, 윤성환, 2011: 주요도시의 폭염 및 열대야

가능성에 관한 정량적 검토. *한국건축환경설비학회 2011년 춘계학술발표대회 논문집*, 107-110.
김경환, 김백조, 오재호, 권원태, 백희정, 2000: 한반도 기온 변화에 나타난 도시화 효과 검출에 관한 연구. *한국기상학회지*, **36**, 519-526.
김맹기, 장인식, 박종흠, 1998: 우리나라 대도시 지표 기온변동과 연관된 계절적인 요인들. *한국기상학회지*, **34**, 466-477.
변재영, 김정식, 김지영, 최병철, 최영진, 2008: 한반도 2007년 여름철 인지온도 특성 연구. *한국기상학회지*, **18**, 137-146.
이대근, 변재영, 최영진, 김규량, 2010: 인지온도를 이용한 여름철 폭염 스트레스와 일 사망률 증가와의 관련성 연구: 1991~2005. *한국대기환경학회지*, **26**, 253-264.
이명인, 장인식, 1997: 한반도 기온변동성과 온난화. *한국기상학회지*, **33**, 429-443.
이승호, 허인혜, 2011: 한국의 도시화에 의한 극한기온의 변화. *대한지리학회지*, **46**, 257-276.
최상복, 2004: 산업안전대사전. 도서출판 골드.
하경자, 하은호, 류철상, 전은희, 2004: 1909년 이후의 우리나라 4대 도시의 기온 경향과 극한기후. *한국기상학회지*, **40**, 1-16.
한국지구과학회, 2009: 지구과학사전. 북스힐.
Havenith G, D. Fiala, K. Błazejczyk, M. Richards, Peter Brde, Ingvar Holmr, Hannu Rintamaki, Yael Benshabat, Gerd Jendritzky, 2012: The UTCI-clothing model. *Int. J. Biometeorol.*, **56**, 461-470.
IPCC, 2007: Climate Change 2007, Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC, Geneva, Switzerland*.
Jendritzky G, K. Bucher, G. Laschewski, H. Walther, 2000: Atmosphere heat exchange of the human being, bioclimate assessments mortality and thermal stress. *Int. J. Circumpolar Health*, **59**, 222-227.
Li P W, Chan S T, 2000: Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. *Meteor. Appl.*, **7**, 369-375.
Meehl G. A. and C. Tebaldi, 2004: More Intense, More Frequent, Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, **13**, 994-997.
Moss, R. H. and Coauthors, 2008: Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. *Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva*.

Steadman R. G., 1979: The Assessment of Sultriness. Part I :
A Temperature-Humidity Index Based on Human
Physiology and Clothing Science. *Amer. Meteor. Soc.*,
861-873.
_____, 1984: A Universal Scale of Apparent Temperature.

J. Climate Appl. Meteor., **23**, 1674-1987.

Thom E. C., 1959: The Discomfort Index. *WeatherWise*, **12**,
Issue 2, 57-61.

UNEP(United Nations Environmental Programme), 2004:
UNEP Annual Report 2004.