

중규모 수치 모델 자료를 이용한 2007년 여름철 한반도 인지온도 예보와 검증

변재영* · 김지영 · 최병철 · 최영진

국립기상연구소, 기상청

(2008년 6월 3일 접수; 2008년 9월 22일 승인)

Forecast and verification of perceived temperature using a mesoscale model over the Korean Peninsula during 2007 summer

Jae-Young Byon*, Jiyoung Kim, Byoung-Cheol Choi and Young-Jean Choi

National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration

(Manuscript received 3 June 2008; in final form 22 September 2008)

Abstract

A thermal index which considers metabolic heat generation of human body is proposed for operational forecasting. The new thermal index, Perceived Temperature (PT), is forecasted using Weather Research and Forecasting (WRF) mesoscale model and validated. Forecasted PT shows the characteristics of diurnal variation and topographic and latitudinal effect. Statistical skill scores such as correlation, bias, and RMSE are employed for objective verification of PT and input meteorological variables which are used for calculating PT. Verification result indicates that the accuracy of air temperature and wind forecast is higher in the initial forecast time, while relative humidity is improved as the forecast time increases. The forecasted PT during 2007 summer is lower than PT calculated by observation data. The predicted PT has a minimum Root-Mean-Square-Error (RMSE) of 7-8 °C at 9-18 hour forecast. Spatial distribution of PT shows that it is overestimated in western region, while PT in middle-eastern region is underestimated due to strong wind and low temperature forecast. Underestimation of wind speed and overestimation of relative humidity have caused higher PT than observation in southern region. The predicted PT from the mesoscale model gives appropriate information as a thermal index forecast. This study suggests that forecasted PT is applicable to the prediction of health warning based on the relationship between PT and mortality.

Key words: Perceived Temperature (PT), WRF model, verification, thermal index, health warning

1. 서론

삶의 질에 대한 관심이 커짐에 따라 기상 조건과 기후 환경이 건강에 미치는 영향이 점차 강조되고 있으며 국민들의 환경과 건강에 대한 관심도 점차 증대되고 있다. 이에 따라 건강에 위협이 되는 조건을 미리 인식시

키고 그에 대한 대비책을 마련하는 것이 중요하다 (Kalkstein *et al.*, 1996).

이제까지 널리 사용되어 왔던 기상 조건의 쾌적 지수는 불쾌 지수, 열 지수, 체감온도 지수 등이 있다. 여름철에는 기온과 습도가 복합된 열 지수와 불쾌 지수를 이용하며, 겨울철에는 기온과 바람의 조합으로 구성된 체감온도 지수를 이용하여 인체와 열적 환경사이의 열 교환 관계를 표현한다. 이러한 지수는 고온과 저온 등 모든 기후조건, 모든 지역, 각각의 계절과 규모에 대해 적용하는데 한계가 있다.

한편, 인간의 열의 스트레스는 하나의 기상요소에 의한 것이 아니라 인체와 주위 환경과의 에너지 교환에 관련한 개개 요소(공기 운동, 기온의 전달, 수증기의 증

*Corresponding Author: Jae-Young Byon, Applied Meteorological Research Lab., National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration, 460-18 Shindaebang-dong Dongjak-gu Seoul 156-720 South Korea. Phone: +82-2-6712-0453, fax: +82-2-846-2851 E-mail: byonjy@kma.go.kr

발, 장파와 단파의 복사균형, 호흡)들의 결합에 의해 유기적으로 작용한다. 또한 여기에 옷 입는 타입은 열 교환의 중요 요소로 작용한다. 따라서 열과 추위로 인한 스트레스를 단순히 기상조건 즉, 기온, 풍속, 습도 등의 독립적 요소의 결합으로 표현하는데 한계가 있다. 인간이 받는 열의 스트레스를 보다 실제적으로 모사하기 위해서는 기상환경에 의한 열 교환(열 손실, 열 과잉 발생)의 생리적인 과정을 계산하는 모델의 사용이 필수적이다 (변재영 등, 2008).

독일 기상청은 기상 요인과 인체의 신진 대사를 잘 표현한 생명기상 모델을 개발하였다. 생명기상 모델은 기상요소와 생리적인 요소를 이용하여 생리적인 열의 스트레스를 표현하는 지수로서 인지온도 (Perceived Temperature, Jendritzky *et al.*, 2000)를 제시하였다. 독일은 인지온도를 이용하여 고온-건강 경보시스템 운영, 도시계획에서 열의 흐름, 열적 변화의 진단과 관련하여 활용되며 국민들에게 생활기상정보 예보에서 활용되고 있다.

인지온도는 Fanger (1982)에 의한 열 평형 식과 실외 복사 모형, 고온 다습한 조건을 고려한 보정 항(Gagge *et al.*, 1986)을 포함하는 열 수치 모형인 Klima-Michel 모델로부터 계산된다 (Jendritzky *et al.*, 2000; 변재영 등, 2008). 인지온도는 실제 조건 하에서 열과 한기를 똑같이 느낄 수 있는 기본 환경에서의 기온이며, 단위는 $^{\circ}\text{C}$ 이다. 기본 환경이란 풍속이 한숨처럼 아주 약하게 나타나고 평균 복사온도가 대기 기온과 같은 때를 가정한다.

기상연구소(2005)는 인지온도를 이용하여 우리나라 주요 지역에서 열 스트레스가 있는 날의 빈도를 분석하였으며, 기상연구소(2006)는 인지온도 계산 과정에 사용되는 입력 기상변수(기온, 바람, 습도, 구름정보)에 따른 인지온도의 민감도를 고찰하였다. 변재영 등 (2008)은 2007년 여름철 한반도 인지온도의 공간 분포를 분석하였으며 인지온도를 열 지수, 불쾌 지수와 같은 여름철 기상지수와 비교하였다. 인지온도는 열 지수, 불쾌 지수와 비교했을 때 해안, 내륙에 의한 지역적 특징을 보다 더 잘 나타냈다.

다양한 기상 정보의 활용도 증가와 계절과 지역에 관계없이 활용 가능한 한반도 지역의 인지온도의 예측을 위하여 이 연구에서는 지역규모 수치예보 자료로부터 인지온도를 산출하고 예측된 인지온도를 관측된 자료로부터 계산된 인지온도와 검증하고자 한다. 2장에서는 수치예보 자료를 소개하였으며, 인지온도 예보 방

법과 결과를 3장에서 설명한다. 4장에서는 예측 인지온도의 검증 결과를 제시하였으며, 본 연구의 결론은 5장에서 맺었다.

2. 자 료

인지온도의 예보를 위하여서는 수치예보로부터 산출된 자료를 이용한다. 본 연구의 인지온도 예보는 2007년 6월 1일부터 8월 31일까지 기상청에서 중규모 수치 모델 Weather Research and Forecasting (WRF, Skamarock *et al.*, 2005)로부터 생산된 예보 자료를 이용한다.

수치 예보는 매일 00, 12 UTC 두 번 예보되며, 격자 간격은 10 km이다. 모델의 격자수는 573(동서) x 513(남북)이고, 연직으로 31개의 층으로 구성된다. Fig. 1에서 모델 영역의 고도를 제시하였다. WRF의 초기, 경계 자료는 Global Data Analysis and Prediction System (GDAPS) 분석 자료를 이용하여 예보된다. WRF 모델의 경계층 물리과정은 YSU 방법 (Hong and Pan, 1996)을 이용하였다. 지표물리 과정은 Noah LSM 방법 (Chen and Dudhia, 2001), 구름미세물리 모수화 방안은 WSM6 (WRF Single-Moment-6 Class-Microphysics) 방법 (Hong and Lim, 2006), 적운 대류 모수화는 Kain-Fritsch 방법 (Kain, 2004)을 이용하였다. 복사는 RRTM 모수화 방법(Mlawer *et al.*, 1997)을 이용한다.

인지온도 예측의 정확도 분석을 위한 오차 분석은 수치 예보 자료로부터 산출된 자료를 관측소의 동일 지점으로 구성된 후 비교하였으며, 비교된 관측 지점 수는 41개 이다. 검증 변수는 예측된 인지온도와 함께 인지온도 계산시 입력되는 기온, 상대습도, 풍속이다.

3. 인지온도 예보

수치예보 자료를 이용한 인지온도의 계산은 예보된 2 m 고도의 기온, 상대습도, 기압, 10 m 고도 풍속, 복사량을 이용한다. 기상 자료 이외에 지리정보 자료로서 지형고도, 위도, 경도, 지표이용도, 방출률, 알베도를 필요로 한다. 본 연구에서 지표 정보(지표이용도, 방출률, 알베도)는 WRF 모델의 지표 경계 자료를 이용한다.

Fig. 2에서는 분석기간의 한반도에서 인지온도의 일변화를 제시하였다. 인지온도는 남부지방에서부터 점차 증가한 후 12시-18시에는 중부지방까지 30°C 이상을 보이며 최고값은 15시에 남부지방에서 나타난다. 인지

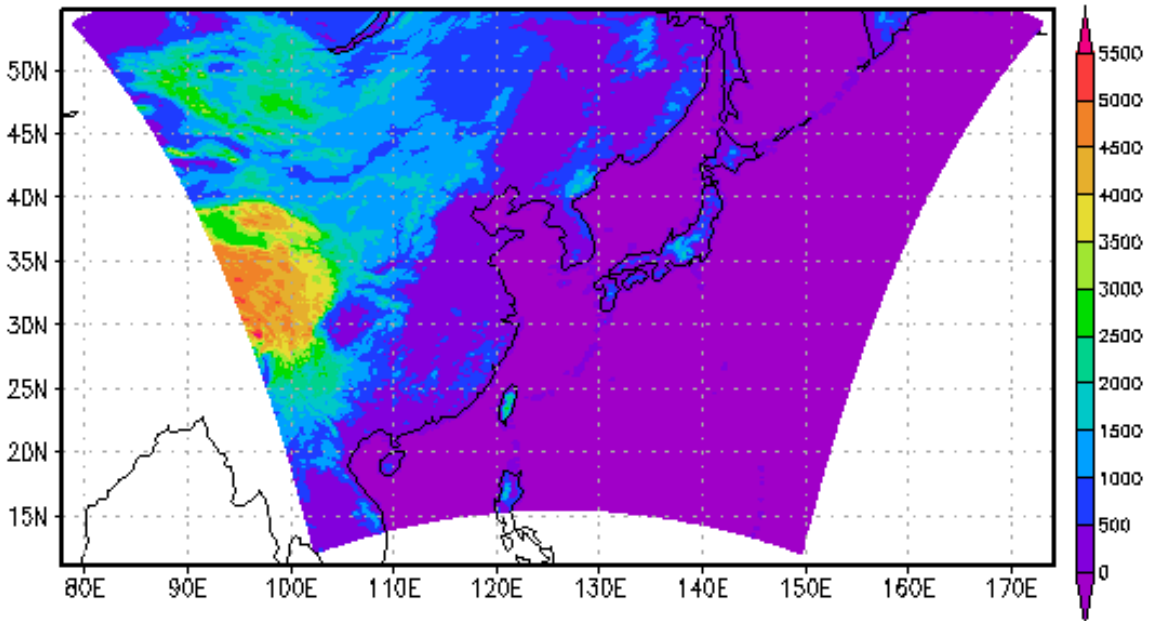


Fig. 1. Shaded area denotes domain for WRF model. Model terrain height is shaded every 500 m.

온도의 감소는 중부 동해안의 산악 지형에서부터 나타난다. 21시부터 중부지방에서 인지온도는 15°C 이하를 나타낸 후 03시에 최저값을 보인다. 인지온도의 일 변화는 최고, 최저기온이 나타나는 시간과 일치하며 지형적 분포와 인지온도의 분포가 일치함을 보인다.

WRF 수치 예보는 3시간 간격으로 60시간 예보되었다. 본 연구에서 인지온도의 예측은 48시간 예보 결과를 이용한다. 예보 자료는 관측 자료와 최적의 상관성을 갖는 예보 시간을 결정하기 위하여 두 번 예보된 자료로부터 12시간 자료만을 이용하여 일 자료를 구성하고 인지온도를 산출하였다. 예보 시간에 따른 검증 분석을 다음 장에서 제시한다.

4. 인지온도 예보의 검증

예보 시간에 따른 오차 분석을 위하여 Klima-Michel 모델의 입력 예보변수 기온, 풍속, 상대 습도와 인지온도의 관측과 예보된 값에 대하여 상관계수, Bias, Root Mean Square Error (RMSE)를 조사하였다. 기온, 풍속과 인지온도의 상관계수는 예보 시간의 증가에 따라 상관성이 감소함을 보인다. 기온의 상관계수는 0.85-0.9의 분포를 보이며, 풍속의 최대 상관계수는 0.5에서 0.4까지 감소한다. 그러나 상대 습도는 예보의 초기 시간

동안 0.65정도로써 상관성이 가장 작으며 12시간 이후의 예보에서 0.7정도로 거의 일정한 분포를 보였다. 인지온도의 상관계수는 기온의 상관계수 보다 조금 작으며 예보 시간에 따라 감소하고 있다 (Fig. 3(a)).

Fig. 3 (b)는 Bias의 분포이다. 기온의 Bias는 음의 편차를 보여 수치 예보가 관측보다 과소예보를 하고 있으며, 오차의 크기는 시간에 따라 증가하고 있다. 풍속의 Bias는 시간에 따른 변화가 작으며 오차의 크기는 0.1m/s 이다. 상대습도의 편차 분포는 3-10%로써 습윤한 예보를 하고 있으며 편차는 시간에 따라 증가한다. 인지온도의 예측은 기온 예보와 유사하며 관측된 인지온도보다 더 작은 값을 보인다. 인지온도의 음의 편차는 9-18시까지의 예보는 일정하며, 12-21시 이후의 예보에서 크게 증가한다.

기온의 RMSE는 2-3°C 범위에 있으며 예보 시간에 따라 오차가 증가하나 변화는 매우작다. 풍속의 RMSE는 0-1m/s이며 기온의 분포와 같이 예보 시간에 따라 오차가 증가하는 경향은 일치하나 오차의 크기는 작다. 상대 습도는 초기 시간에 최대 16%정도의 오차를 보이나 예보 시간에 따라 감소하며 최소 RMSE는 15-24시 예보에서 14%이다. 대체로 12-21시 이후의 예보에서는 일정해짐을 볼 수 있다. 인지온도의 RMSE는 예보시간에 관계없이 거의 일정하나 최소값은 9-18시 예보에서

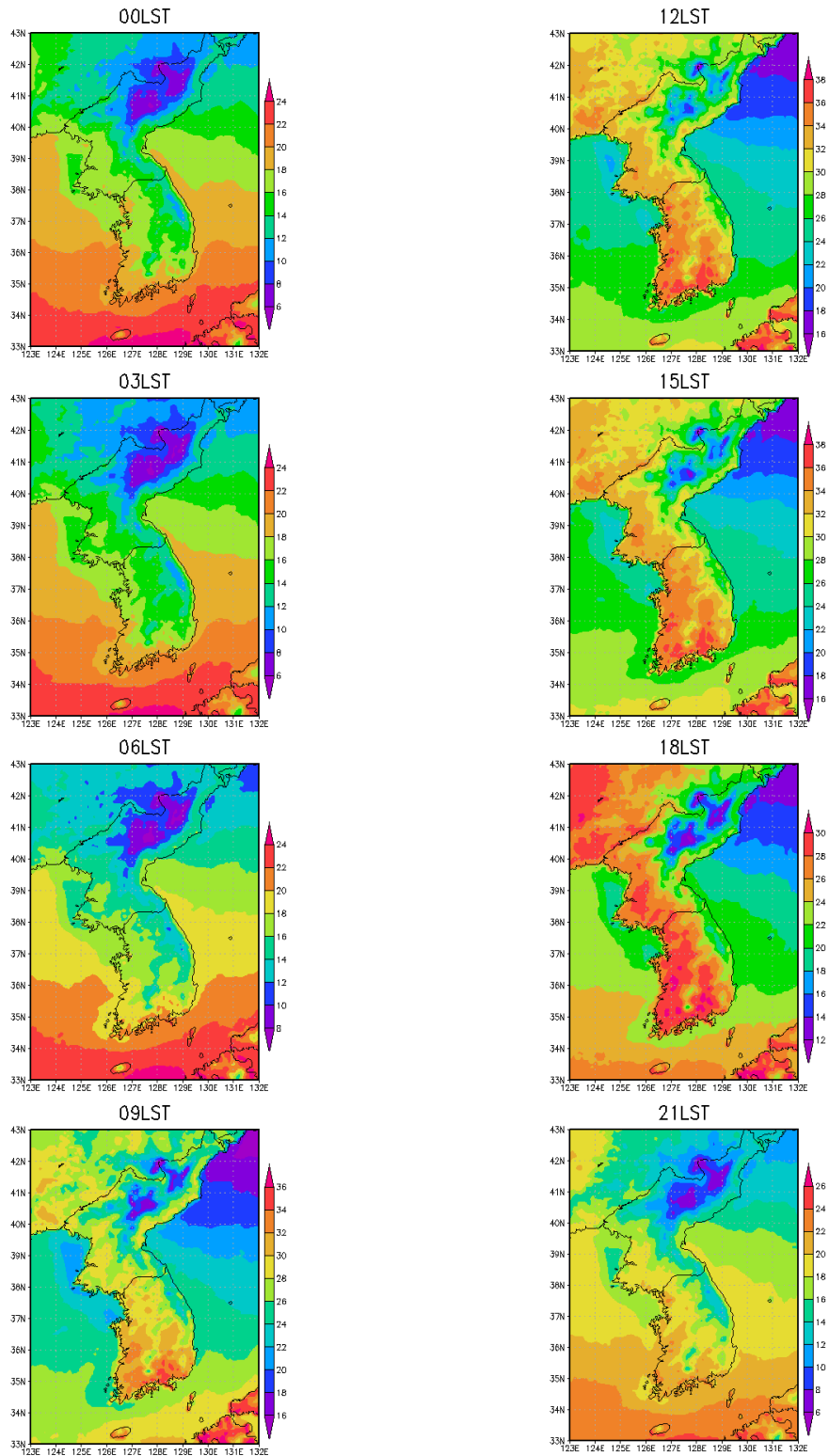


Fig. 2. Diurnal distribution of perceived temperature(°C) calculated from WRF model forecast during 2007 summer.

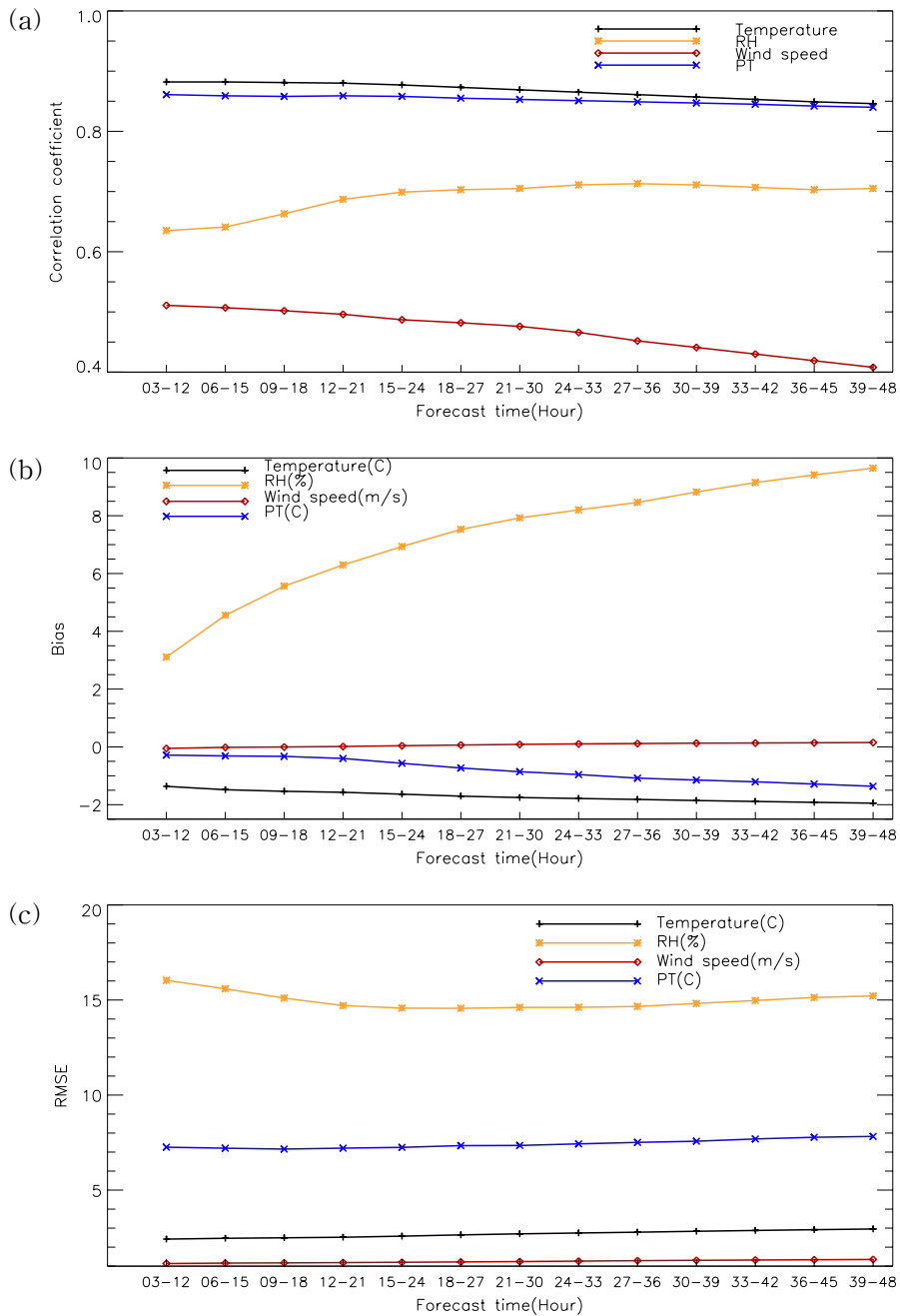


Fig. 3. (a) Correlation coefficient of perceived temperature and meteorological input variable (temperature, relative humidity and wind speed) between WRF model and station observation over the Korean Peninsula during 2007 summer. (b) Same as (a), except for bias. (c) Same as (a), except for RMSE.

나타나고 크기는 7~8°C이다 (Fig. 3(c)). 이는 인지온도가 기온, 풍속, 상대습도 등의 다양한 기상요소를 고려하여 산출되므로 기온과 풍속은 예보의 초기 시간동

안 정확성이 우수하나 상대습도는 초기 시간동안은 오차가 증가하고 12시간 이후에서 오차가 감소하므로 인지온도는 9-18시 예보에서 RMSE가 최소값을 나타내

는 것으로 생각된다.

수치 예보 자료로부터 계산된 인지 온도의 공간 분포를 관측된 자료를 이용하여 계산된 인지온도와 비교하였다 (Fig. 4). 예보 시각에 따른 오차의 분석은 예보 시각이 증가함에 따라 상관성과 Bias는 증가하는 경향을 보이거나 RMSE는 9-18시 예보에서 최소가 되었다. 따라서 인지온도와 입력 변수의 공간 분포는 9-18시 예보 자료를 이용하여 관측된 인지온도와 비교한다. 수치예보 자료로부터 산출된 인지온도의 분포에서도 위도에 반비례하는데 중부 동해안 지역의 인지온도가 낮게 나타나며 동일 위도대에서는 서해안의 인지온도가 더 높은 값을 보인다 (Fig. 4(a)). 이는 중부 동해안의 높은 지형적인 영향 때문이다. 인지온도의 최대값은 남부지방에서 나타난다. 그러나, 변재영 등(2008)의 결과에서 나타난 관측된 인지온도가 남부 내륙에서 증가, 남해안지역을 따라 감소되는 분포는 예보된 인지온도에서 뚜렷하지 않았다. 예보와 관측 Bias의 정량적인 크기는 대체로 내륙과 동해안에서 음의 Bias가 커져 모델의 과소 예보가 큰 지역임을 알 수 있다. 음의 Bias의 최대는 중부 강원도 지역에서 나타났다. 남부 지방과 서해안은 양의

Bias를 보이는데 인지온도가 과다 예보되는 지역이다 (Fig. 4 (b)).

Fig. 5는 인지온도 계산을 위한 Klima-Michel 모델에 입력되는 기상 변수의 수치 예보 결과의 공간 분포이다. 여름철 평균 기온은 20-26°C 분포이며 남부지방과 서해안에서는 23-25°C, 중부 동해안 지역에서 21-23°C 로써 최소이다. 남부 지방의 기온이 증가, 동해안에서 감소하는 공간분포는 관측과 일치하고 있다 (Fig. 5(a)). 상대 습도의 분포는 남해안에서 85% 이상을 보여 최대 값을 나타내며 중부 지방과 내륙은 70-80%로써 고위도에서 상대습도가 감소하고 있다 (Fig. 5(b)). 풍속은 0.3-4.2m/s 분포이며 동해안에서는 3.0m/s 이상이 풍속을 보여 관측에서 나타난 1.5m/s의 풍속보다 강하게 모의하고 있다. 반면, 남해안지역의 관측된 풍속은 2.5m/s 이상이나 모의된 풍속은 1.2-2.1m/s로써 관측된 값에 비하여 작게 모의하였다 (Fig. 5(c)). Fig. 5(d) 평균복사온도(TMRT, Matzarakis, *et al.*, 2007)는 기온의 분포와 유사하여 중부 동해안 지역에서 최소, 남부 지방에서 최대값을 나타낸다. 또한 인지온도의 분포는 평균복사온도와 거의 일치함을 보인다. 인지온도의 공간 분포와

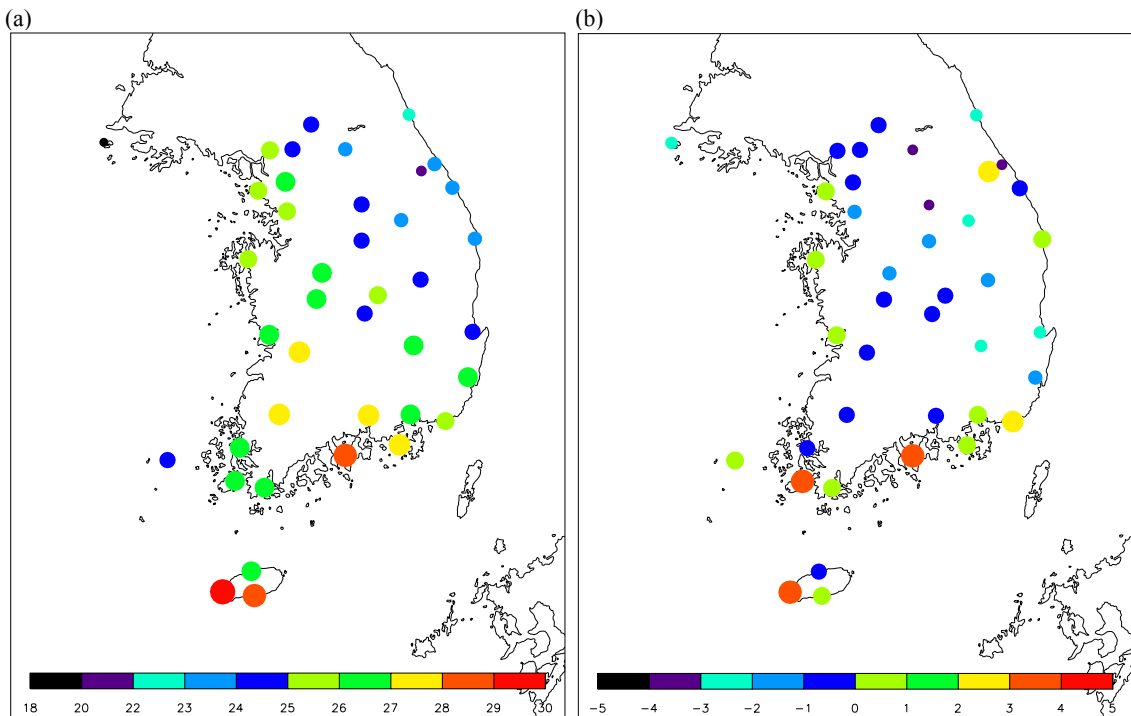


Fig. 4. Spatial distribution of (a) perceived temperature (PT, °C) calculated from WRF forecast and (b) PT bias.

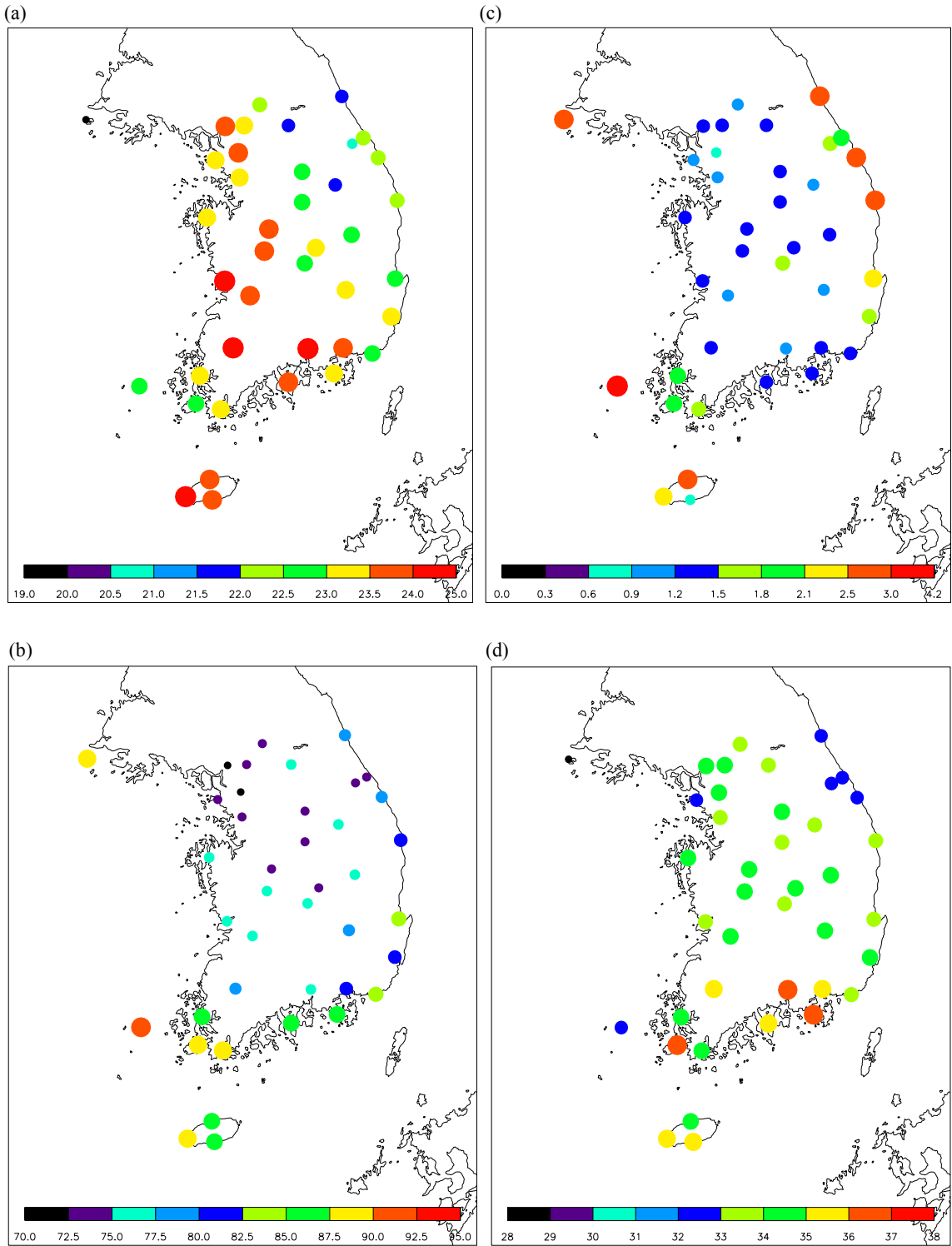


Fig. 5. Distribution of (a) temperature(°C), (b) relative humidity(%) at 2m height, (c) wind speed(m/s) at 10m height, and (d) TMRT(°C) calculated from WRF forecast.

입력 기상 변수를 비교하였을 때 인지온도는 위도 증가에 따라 감소, 남부 내륙에서 최대값을 보이는 기온의 분포와 유사하다. 중부 동해안에서 모의된 강한 풍속과 남해안의 약한 풍속, 남부 지방에서 습윤한 수치 모의 결과에 의한 인지온도 영향은 Fig. 6의 Bias 분석에서 제시한다.

인지온도 계산을 위한 입력 기상 변수(기온, 상대습도, 풍속, 평균복사온도)의 관측치와 수치 예보 결과의 정량적인 편차를 조사하였다 (Fig. 6). Fig. 6(a) 기온 편차의 공간 분포는 대부분의 지역에서 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 음의 편차를 보인다. 기온의 최소를 나타낸 중부 동해안에서 -3°C 최대 음의 편차 지역을 나타냈으며 이 지역은 인지온도의 최대 오차를 보였다. 상대습도의 편차는 남부 지방과 경기 강원 중부지역에서 6~10%정도 습윤하게 예보하였다 (Fig. 6(b)). 인지온도의 특성 분석으로부터 여름철 상대 습도와 인지온도는 양의 상관성을 보였다 (기상연구소, 2006). 즉, 습윤한 공기는 인지온도를 상승시키는 효과가 있다. 남부 지방의 습윤한 예보는 인지온도 예보를 보다 더 높게, 중부 지방의 건조한 예보는 인지온도의 음의 편차를 증가 시킨 것으로 보인다.

Fig. 6(c) 풍속의 편차는 중부 동해안에서 0.6m/s 이상의 양의 최대 편차를, 남해안에서는 $-0.6\sim -1.0\text{m/s}$ 음의 편차, 내륙에서는 $0.2\sim 0.4\text{m/s}$ 양의 편차를 보인다. 변재영 등(2008)과 Kim *et al.* (2008)의 연구에서 풍속은 여름철 인지온도를 감소시키는 효과가 있다. 중부 동해안에서 풍속의 양의 편차가 최대를 나타냈는데 강원 중부지방의 인지온도 감소에 기여하는 것으로 보인다. 또한 남해안에서는 과소 예보된 풍속, 과다 예보된 상대습도에 의해 인지온도 양의 편차가 증가한 것으로 보인다. 평균복사온도는 중부 내륙에서 $-2.0\sim 0^{\circ}\text{C}$ 음의 편차를 나타내 중부 지방에서 인지온도가 감소한 결과와 일치한다 (Fig. 6(d)).

예보된 입력 기상 변수의 최대 오차 지역은 대체로 중부 동해안으로 인지온도의 오차가 최대인 지역과 일치한다. 인지온도 예측은 입력 기상 변수의 정확도에 의존한다. 따라서 인지온도 예보의 정확도 향상을 위해서는 예측 자료의 정확도를 향상 시켜야 할 것이다. 본 연구에서는 예보된 자료의 직접적인 입력을 하였으나, 수치 예보 자료를 통계 분석하여 예보된 Kalman filter 기온 자료와 같은 자료의 입력은 인지온도 예보를 향상 시킬 것으로 기대된다. 또한 수치 모델의 지형 고도는

모델 입력 초기 자료 생성시 평활화되어 실제 관측고도보다 낮다. 이러한 수치 모델 지형고도와 관측소 고도와의 고도 차이에서도 오차가 발생할 수 있으며 정확도 향상을 위해서는 고도 오차에 대한 보정이 필요하다.

인지온도는 열의 민감도에 따라 very cold 부터 very hot까지의 9개 등급으로 분류된다. 열의 민감도 등급의 분류는 쾌적한 지역, 열 스트레스가 강한 지역 분포를 위하여 활용되며 2007년 여름철 인지온도의 분포로부터 한반도는 중부 동해안 지역에서 가장 쾌적함을 보였다 (변재영 등, 2008). 수치 예보된 인지온도의 정확성 분석을 위하여 열 민감도의 등급에 따른 빈도수를 분류하고 관측된 인지온도로부터 분류된 빈도수 분포와 비교하고자 한다.

수치모델로부터 산출된 인지온도의 등급별 빈도수 조사의 결과에서 Comfortable ($0^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 20^{\circ}\text{C}$) 빈도수는 중부 동해안에서 최다 빈도수를 나타낸다. Slightly warm ($20^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 26^{\circ}\text{C}$)의 빈도수는 서쪽 내륙에서 최다 분포를 보이고 남부지방으로 갈수록 감소하였다. 남부지방은 Warm($26^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 32^{\circ}\text{C}$)의 분포가 중부 지방에 비하여 증가하였다. Warm의 분포는 동해안에서 최소를 보인다. Hot ($32^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 38^{\circ}\text{C}$), Very hot ($\text{PT} > 38^{\circ}\text{C}$)의 빈도수는 남부지방에서 17~20%이며 최대값을 보였다. 변재영 등(2008)의 관측된 결과와 비교하였을 때 Slightly warm은 남부지방과 서쪽 지역에서 과소 예보되고 중부 내륙에서는 과다예보 되었다. 남해안은 Warm과 Hot 등급이 과다 예보되는 경향을 보였다. 관측된 Hot 등급에서 나타나는 서쪽지역의 최대분포는 예보에서는 감소하였음을 보였다. Very hot은 남해안 지방에서 과다 예보됨을 알 수 있다(Fig. 7). 중부 동해안지역의 Very hot은 관측보다 현저한 과소 예보를 보이는데 중부 동해안에서 과소 예보된 기온과 과다 예보된 풍속에 의해 인지온도가 과소 예보되었기 때문으로 보인다.

5. 결론

2007년 6월8월까지의 기상청 중규모 모델 WRF 예보 자료를 이용하여 인지온도를 예측하고 관측된 자료로부터 계산된 인지온도와 검증하였다. 예측된 인지온도는 한반도 지형의 분포를 잘 따르고 있으며 일 변화를 보이는 등 기온과 유사한 형태이다.

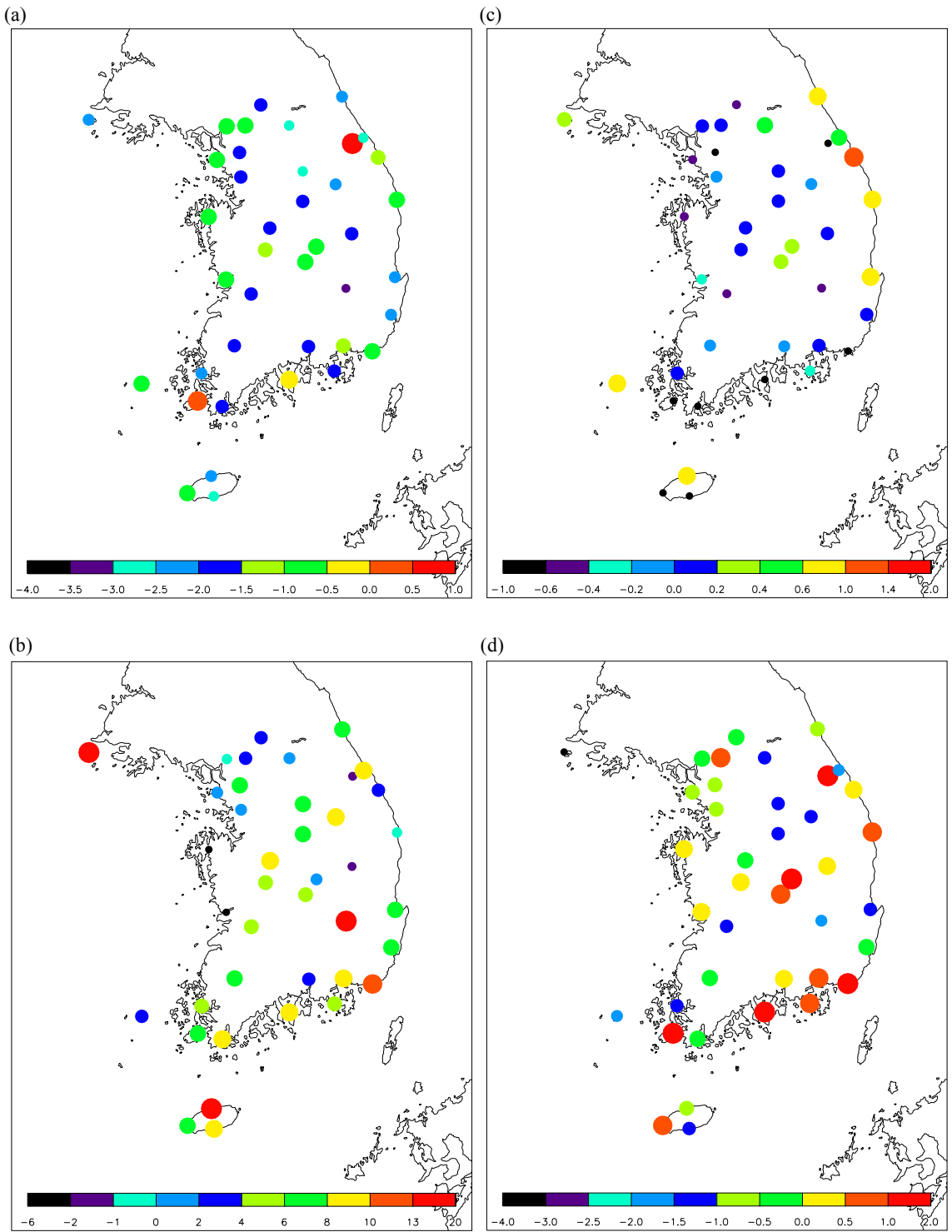


Fig. 6. Distribution of bias of (a) temperature, (b) relative humidity at 2m height, (c) wind speed at 10m height, and (d) TMRT calculated from WRF forecast.

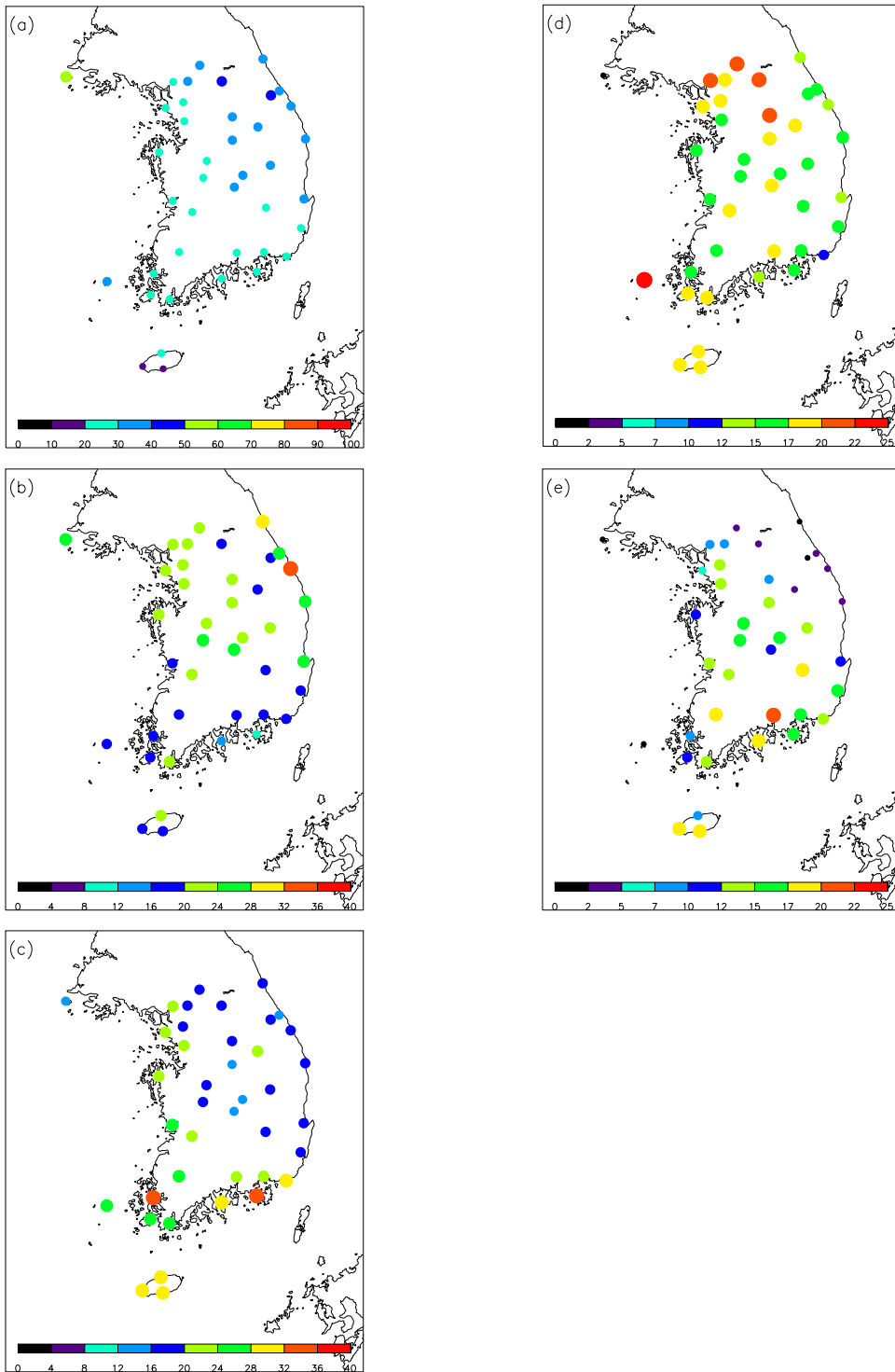


Fig. 7. Frequency (%) of thermal comfort classified by perceived temperature during June-August 2007. (a) Comfortable ($0^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 20^{\circ}\text{C}$), (b) Slightly warm ($20^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 26^{\circ}\text{C}$), (c) Warm ($26^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 32^{\circ}\text{C}$), (d) Hot ($32^{\circ}\text{C} \leq \text{PT} < 38^{\circ}\text{C}$), (e) Very hot ($\text{PT} > 38^{\circ}\text{C}$).

48시간 예보된 자료를 예보 시각에 따라 검증한 결과 상관계수는 입력된 기온, 바람과 같이 예보 시각에 따라 감소하는 경향을 보였다. 인지온도의 Bias 분포는 모델 예측에서 관측보다 더 작은 값을 보이며 12-21시 이후의 예보에서 음의 편차가 증가하였다. 예보된 인지온도의 RMSE는 7~8°C 이며 9-18시 정도의 예보에서 최소값을 나타낸다. 기온과 풍속은 예보의 초기 시간동안 정확성이 우수하나 상대 습도는 초기 시간동안은 정확도가 감소하고 15-24시 정도에서 가장 우수한 결과를 나타내므로 인지온도는 9-18시 예보에서 RMSE가 최소값을 나타낸 것으로 보인다.

예보된 인지온도의 공간 분포에서는 위도의 증가에 따라 감소하며 동해안 지역에서 낮게 나타난다. 인지온도의 최대값은 남부지방에서 나타났다. 예보와 관측된 인지온도의 Bias 공간분포에서 내륙과 동해안에서는 음의 값을 보여 모델이 과소 예보함을 알 수 있었다. 반면 남부 지방과 서해안은 양의 편차를 나타내어 모델에서 과다 예보되는 지역으로 나타났다.

예측된 인지온도의 과소 예보는 입력된 기상 변수 기온, 상대습도, 바람 등의 오차에서 기인한다. 기온은 전국적으로 과소 예보되며 중부 동해안에서 최저기온과 최대 Bias를 나타냈다. 풍속은 동해안에서 강하게 나타났으며, 남해안은 관측보다 감소하였다. 강한 풍속은 인지온도를 감소시키는데 중부 동해안에서 인지온도의 음의 편차가 증가한 원인은 낮은 기온과 강한 풍속에 의한 것으로 보인다. 상대습도는 남부 지방에서 습윤하게 모의하였다. 상대습도는 인지온도의 상승에 기여하는데 남부지방에서 과다 예보된 인지온도는 과다 예보된 습도, 과소 예보된 풍속에서 기인한다.

열적 민감도에 따른 인지온도의 분포에서도 중부 동해안에서 Comfortable의 최다 빈도를 보여 관측과 유사하였다. Slightly warm은 중부 내륙지방, Hot은 서쪽지역에서 과다 예보됨을 보였다. 남부 지방에서는 Warm, Hot, Very hot이 관측보다 조금 더 높게 나타났는데 남부 지방의 높은 상대습도, 낮은 풍속 예보 때문으로 생각된다. Very hot의 빈도가 강원도 지역에서 관측보다 감소하였는데 낮은 기온과 강한 풍속에서 기인한 것으로 보인다.

중규모 예보 자료를 이용한 인지온도의 산출과 관측 자료와의 비교 검증은 인지온도의 생활 기상지수로써 예보를 위한 가능성을 제시하였다. 인지온도는 개개의

기상요소보다 인체에 영향을 미치는 기상변수를 동시에 고려하였으므로 폭염이나 한파에 의한 건강 경주의 보 예보에 효과적으로 활용될 수 있을것이다.

감 사

이 연구는 국립기상연구소 “신생활 산업기상 기술개발”연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

기상연구소, 2005: 생명기상기술개발연구(I), 기상연구소 연구보고서, MR050A10, 168 pp
 _____, 2006: 생명기상기술개발연구(II), 기상연구소 연구보고서, MR060A44, 158 pp
 변재영, 김정식, 김지영, 최병철, 최영진, Angelika Graetz, 2008: 한반도 2007년 여름철 인지온도 특성 연구. *대기*, **18**, 137-146.
 Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 569-585.
 Fanger, P. O., 1982: Thermal comfort. Analysis and application in environmental engineering. *Krieger*, 244 pp.
 Gagge, A.P., A.P. Fobelets, and P. E. Berglund, 1986: A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Trans.*, **92**, 709-731.
 Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
 _____, and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, **42**, 129-151.
 Jendritzky, G., K. Bucher, G. Laschewski, and H. Walther, 2000: Atmospheric heat exchange of the human being, bioclimatic assessments, mortality and thermal stress. *Int. J. Circumpolar Health*, **59**, 222-227.
 Kain, J. S., 2004: The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 170-181.
 Kalkstein, L. S., P. F. Jamason, and J. S. Greene, 1996: The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: development and application, summer 1995. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1519-1528.
 Kim, J., K. R. Kim, B.-C. Choi, D. G. Lee, and J.-S. Kim, 2008: Regional distribution of perceived temperature estimated by the human heat budget model (the Klima-Michel model) in South Korea. *Adv. Atmos. Sci.*, (submitted).
 Matzarakis, A., F. Rutz, and H. Mayer, 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments-applica-

- tion of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.*, **51**, 323-334.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-K model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102(D14)**, 16663-16682.
- Skamarock, W.C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang and J. G. Powers, 2005: A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note NCAR/TN-468+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 88 pp.